Abstract

Recent decades brought technological advances able to improve the life quality of people with disabilities. However, practical developments are still scarce to what tetraplegics and their rehabilitation is concerned. Therapeutic processes are lengthy and require great dedication from both the therapist and the patient. They consist in carrying out repetitive movement patterns across sessions, giving relevance to a suitable observation and accompaniment process. Our goal is to provide a system with accurate monitoring and evolution analysis. We analyzed therapy sessions with tetraplegics to better understand the rehabilitation process and highlight the major requirements for a technology-enhanced tool. We developed a prototype able to automate and improve the current monitoring and follow-up processes. Results indicate that computational movement analysis and comparison can improve the quality of a rehabilitation session and overall patient evolution analysis. The capture and virtual playback of motion in physical therapy sessions increases therapist awareness of patient condition and evolution.

Keywords: Physical Rehabilitation, Tetraplegic, Therapists, Movement Analysis, Computer-Assisted Rehabilitation.

Resumo

Nas últimas décadas os avanços tecnológicos melhoraram a qualidade de vida das pessoas com deficiência. No entanto, os avanços ainda são escassos para os tetraplégicos e para a sua reabilitação. Os processos terapêuticos são longos e exigem muita dedicação, tanto para o fisioterapeuta como para o paciente. Estes processos consistem na realização de padrões de movimentos repetitivos ao longo das sessões, dando relevância a um acompanhamento e a uma observação adequada do movimento. O nosso objectivo é oferecer um sistema com um rigoroso acompanhamento e análise da evolução. Analisamos as sessões de fisioterapia com tetraplégicos para entender melhor o processo de reabilitação e destacar os requisitos principais. Foi desenvolvido um protótipo capaz de melhorar a monitorização e acompanhamento dos processos. Os resultados indicam que a análise e comparação do movimento pode melhorar a recuperação e análise da evolução do paciente. A captura e reprodução do movimento nas sessões de fisioterapia aumento sensibiliza da condição e evolução do paciente.

Palavras-Chave: Reabilitação, Tetraplegia, Fisioterapeutas, Análise de Movimento, Reabilitação Assistida por Computador

Agradecimentos

Em primeiro lugar, os meus maiores e mais especiais agradecimentos vão para a minha família. Agradeço pelo apoio, motivação e paciência demonstrada durante este ano. Ao meu namorado, pelo apoio durante todo este processo, pela paciência que teve comigo nas fases menos boas e, principalmente, por me manter sempre motivada para fazer um bom trabalho.

Um agradecimento muito especial ao Tiago Guerreiro pela disponibilidade demonstrada desde o primeiro dia. Agradeço também ao Hugo Nicolau, pela sua ajuda na orientação da tese. Gostaria de mostrar também a minha gratidão ao Professor Joaquim A. Jorge, por todas as oportunidades que me foram dadas e pela confiança que depositou em mim. Um agradecimento ao Professor Daniel Gonçalves, pela ajuda em algumas partes da tese.

Um grande agradecimento aos meus amigos que me acompanharam ao longo de toda a tese, em especial à Raquel, à Cecília, à Teresa e à Sarah que me apoiaram e acreditaram sempre em mim. Em geral, agradeço ao pessoal do laboratório 11 da RNL.

Os meus agradecimentos a todos os pacientes do Lar Militar da Cruz Vermelha, bem como aos fisioterapeutas, por participarem neste estudo.

Por fim, dedico esta tese à minha mãe e irmãs, que são o meu orgulho, e o meu porto de abrigo. Agradeço pelos sacrifícios que possam ter feito para que chegasse a esta meta da minha vida.

Conteúdo

1 Introdução **1**

1.1 Motivação . . . 1

1.2 Melhorar a Reabilitação em Tetraplégicos . . . 2

1.2.1 Contribuições . . . 3

1.3 Publicações . . . 3

1.4 Estrutura da Dissertação . . . 4

2 Trabalho Relacionado **5**

2.1 Sistemas de gestão . . . 6

2.1.1 Fisiosys Web . . . 6

2.1.2 SONHO . . . 7

2.2 Software para Reabilitação . . . 7

2.2.1 Rutgers Arm . . . 7

2.2.2 TheraGame . . . 8

2.2.3 IREX . . . 9

2.2.4 Therapy Tiles . . . 9

2.2.5 Gamewheels . . . 10

2.2.6 CAREN- Computer Assisted Rehabilitation Environment . . . 11

2.2.7 VR Rehab - A Virtual Reality rehabilitation . . . 12

2.2.8 FisiMETRIX . . . 13

2.2.9 Fisioterapia com acompanhamento remoto . . . 14

2.3 Jogos usados na Reabilitação . . . 15

2.3.1 Wii . . . 15

2.3.2 EyeToy . . . 17

2.3.3 Vivid Gesture Extreme . . . 18
2.3.4 Cybex TRAZER . . . 19
2.4 Discussão . . . 20
2.5 Conclusão . . . 24

3 Desenho Centrado no Utilizador **25**
3.1 Contexto . . . 25
3.1.1 Tetraplegia . . . 25
3.1.2 Reabilitação . . . 27
3.2 Análise de tarefas . . . 28
3.2.1 Tetraplégicos . . . 28
3.2.2 Fisioterapeutas . . . 29
3.2.3 Local . . . 32
3.2.4 Foco . . . 32
3.2.5 Sessões de fisioterapia . . . 32
3.2.6 Conclusão . . . 34
3.3 Cenários do Problema . . . 34
3.4 Requisitos . . . 35
3.4.1 Requisitos do Sistema . . . 35
3.5 Cenários de Actividades . . . 36

4 Reabilitação Assistida por Computador **38**
4.1 Desenho da Interface . . . 38
4.2 Cenários de Interacção . . . 41
4.3 Arquitectura . . . 42
4.3.1 Aplicação . . . 43
4.3.2 Módulo Introdução . . . 43
4.3.3 Módulo Captura . . . 47
4.3.4 Módulo Calibrar . . . 50
4.3.5 Módulo Reprodução . . . 50
4.3.6 Interface . . . 53
4.3.7 OpenIVI . . . 55
4.4 Estudos preliminares . . . 56

4.4.1 Avaliação Preliminar . . . 56
4.4.2 Avaliação Heurística . . . 59
4.4.3 Conlusões . . . 65

5 Avaliação **66**
5.1 Perguntas de Investigação . . . 66
5.2 Participantes . . . 67
5.3 Local e Material utilizado . . . 67
5.4 Procedimento . . . 68
5.5 Resultados . . . 71
5.5.1 Montagem e Calibração . . . 71
5.5.2 Precisão e Grau de Certeza . . . 73
5.5.3 Comparação entre sessões . . . 75
5.5.4 Coerência de dados . . . 77
5.6 Discussão . . . 78

6 Conclusões **81**
6.1 Sumário da Dissertação . . . 81
6.2 Trabalho Futuro . . . 82
6.2.1 Sincronização dos movimentos . . . 82
6.2.2 Estudo aprofundado da colocação dos sensores . . . 82
6.2.3 Analisar informação num intervalo de tempo . . . 82
6.2.4 Incorporar jogos durante a realização dos movimentos . . . 82

7 Bibliografia **83**

A Análise de tarefas **85**
A.1 Questionário a tetraplégicos . . . 85
A.2 Respostas aos questionários de utilizadores . . . 87
A.3 Observação das sessões . . . 88
A.4 Questionários aos Fisioterapeutas . . . 89
A.5 11 Perguntas . . . 90

B Resultados Avaliação Preliminar **92**

C Avaliação Heuristica **95**

C.1 Guião da Avaliação heuristica 95

C.1.1 Introdução 95

C.1.2 Contexto 95

C.1.3 Utilizadores 96

C.1.4 Material Necessário 96

C.1.5 Procedimentos 96

C.2 Heurísticas de Usabilidade – Jakob Nielsen, 1994 97

C.3 Graus de severidade 97

D Questionário de Avaliação (Visualização) **103**

E Questionário de Avaliação (Comparação) **104**

F Resultados da Avaliação Final **105**

Lista de Figuras

2.1 Sistema Fisiosys Web 6
2.2 Sistema Rutgers Arm 7
2.3 Paciente a utilizar o TheraGame 8
2.4 Exemplo da utilização do sistema IREX 9
2.5 Exemplo da utilização do Therapy Tiles 10
2.6 Paciente a utiliza o SMARTWheel 11
2.7 Paciente a utilizar o CAREN 12
2.8 Essential Reality P5 data glove 12
2.9 Sistema FisiMETRIX 13
2.10 Exemplo da técnica tele-reabilitação 14
2.11 Representação do paciente 14
2.12 Configuração do sistema. 15
2.13 Utilizadores com a Wii 16
2.14 Fisioterapia com a Nintendo Wii 16
2.15 Exemplos de jogos do EyeToy 17
2.16 Exemplo do jogo Birds and Balls 19
2.17 Pacientes a utilizarem o Cybex TRAZER. 19

3.1 Coluna Vertebral 26
3.2 Região da zona geralmente afectadas por tetraplégicos 27
3.3 Pontos para estabilizar o neuro-eixo 30
3.4 Exemplo do 1º movimento - elevação do ombro com rotação interna 30
3.5 Exemplo do 2º movimento - elevação do ombro com rotação externa 31
3.6 Exemplo do 3º movimento - hiper-extensão do ombro com rotação interna 31

3.7 Observação das sessões de fisioterapia 33

4.1 Ficheiro xml dos movimentos 39
4.2 Exemplo de reprodução 40
4.3 Exemplo de Comparação de movimentos 41
4.4 Arquitectura do Sistema 43
4.5 Introdução de novo paciente 44
4.6 Introdução de movimento base - introdução dos dados 44
4.7 Novo movimento base - calibração 45
4.8 Novo movimento base - calibração - correspondência 45
4.9 Novo movimento base - selecção dos pontos 46
4.10 Novo movimento base- gravação do movimento 46
4.11 Arquitectura do tracking (a) utilizador com marcadores esféricos coberto por fita retro-flexível à luz infravermelha (b) câmara com LEDs 47
4.12 Iteração do filtro de Kalman. 49
4.13 Exemplo de um movimento guardado 51
4.14 Reprodução do movimento 51
4.15 Informações relativas a um ponto seleccionado 52
4.16 Sessões de fisioterapia 52
4.17 Escolher modo de comparação 53
4.18 Escolher duas execuções do movimento para comparar 53
4.19 Comparar dois movimentos 53
4.20 Exemplo de Menus 54
4.21 Exemplo de Tabelas 54
4.22 Exemplo de Formulários 55
4.23 Representação 3D do esqueleto 55
4.24 Arquitectura do OpenIVI 56
4.25 Resumo da avaliação preliminar - Tempo (seg) 58
4.26 Resumo da avaliação preliminar - Número de Erros 58
4.27 Resumo da avaliação preliminar - Número de Ecrãs 59
4.28 Edição de campos 60
4.29 Seleccção do tipo de Lesão 61

4.30 Melhoria na Path 61
4.31 Melhoria nos Botões 62
4.32 Solução com número de passos da tarefa 62
4.33 Ajuda no menu sessões 64
4.34 Barra de reprodução de movimento 65

5.1 Sala Lourenço Fernandes 68
5.2 Cenário da avaliação 69
5.3 Exemplo do movimento 1- elevação do ombro com rotação interna 70
5.4 Exemplo do movimento 2- elevação do ombro com rotação externa 70
5.5 Exemplo do movimento 3 - hiper-extensão do ombro com rotação interna 70
5.6 Utilizadores durante a avaliação 71
5.7 Tempo de montagem dos sensores 71
5.8 Tempo de calibração dos sensores 72
5.9 Comparação das visualizações de posições diferentes 73
5.10 Comparação dos Estados 74
5.11 Visualizações das várias posições dos fisioterapeutas 75
5.12 Comparação da sessão 1 e sessão 2 nas posições manual 1 e manual 2 77
5.13 Comparação da sessão 1 e sessão 2 na posição automático 77
5.14 Colocação dos sensores 78

Lista de Tabelas

2.1 Comparação dos Sistemas de Gestão 20

2.2 Comparação dos Softwares para Reabilitação 22

2.3 Comparação dos Jogos para Reabilitação 23

3.1 Áreas que conseguem controlar 29

4.1 Lista de falha heuristicas na tarefa 1 60

4.2 Lista de falha heuristicas na tarefa 2 61

4.3 Lista de falha heuristicas na tarefa 3 63

4.4 Lista de falha heuristicas na tarefa 4 63

4.5 Lista de falha heuristicas na tarefa 5 64

5.1 Dados dos fisioterapeutas 67

5.2 Plano de Sessões 69

5.3 Resumo da terceira sessão do primeiro movimento 73

5.4 Resumo da terceira sessão do terceiro movimento 75

5.5 Valores respondidos na comparação das execuções do movimento 1 76

5.6 Resultados do questionário de satisfação 80

B.1 Resultados Tarefa 1 92

B.2 Estimativas Tarefa 1 92

B.3 Resultados Tarefa 2 93

B.4 Estimativas Tarefa 2 93

B.5 Resultados Tarefa 3 93

B.6 Estimativas Tarefa 3 93

B.7 Resultados Tarefa 4 93

B.8 Estimativas Tarefa 4 94
B.9 Resultados Tarefa 5 94
B.10 Estimativas Tarefa 5 94

F.1 Resumo da Avaliação relativo ao movimento 1- Visualização 105
F.2 Resumo da Avaliação relativo ao movimento 2- Visualização 106
F.3 Resumo da Avaliação relativo ao movimento 3- Visualização 106
F.4 Resumo da Avaliação relativo ao movimento 1- Comparação 107
F.5 Resumo da Avaliação relativo ao movimento 2- Comparação 107
F.6 Resumo da Avaliação relativo ao movimento 3- Comparação 107
F.7 Resumo dos tempos na montagem e calibragem dos sensores 107
F.8 Resumo do questionário de satisfação 107

Capítulo 1

Introdução

A fisioterapia é uma ciência na área da saúde voltada para o entendimento da funcionalidade humana que actua nas mais diferentes áreas com procedimentos, técnicas, metodologias e abordagens específicas com o objectivo de avaliar, tratar, minimizar e prevenir as mais variadas disfunções [27].

A tetraplegia afecta todas as quatro extremidades, superiores e inferiores, juntamente à musculatura do tronco, onde existem vários graus de lesão, que podem ir desde a perda de força, até a uma imobilidade completa. As situações que provocam a tetraplegia são muitas, mas quase todas têm a ver com danos de uma porção da medula na coluna cervical. Quando a lesão se situa nos segmentos cervicais inferiores e envolve a metade anterior da coluna vertebral, a paralisia dos braços pode ser do tipo flácida e arrefléxica e a das pernas, do tipo espástica. Em geral, há dor no pescoço e nos ombros, assim como dormência nas mãos [12].

Os tetraplégicos são normalmente os mais limitados em termos de capacidade motora, apresentando sérias dificuldades em controlar o seu ambiente, que geralmente é a sua casa. Tendo em conta as suas necessidades, uma das soluções propostas baseia-se no desenvolvimento de um sistema que os possa ajudar nos exercícios fisioterapeuticos.

Em Portugal, ocorrem em média 17 casos de tetraplegia por ano, sendo que a maior parte é causada por acidentes de viação e de mergulho. A incidência estimada de lesão medular a nível mundial é entre 11 e 53 casos por milhão de habitantes [22].

Uma das áreas que tem contribuído para o colmatar desta problemática ligada à motivação do paciente tetraplégico durante as sessões de fisioterapia é a informática, onde se tenta associar a esta o seu potencial terapêutico e a sua capacidade em manipular e reforçar as reacções a fim de desenvolver o mais adequado e individual paradigma de aprendizagem motora [1].

1.1 Motivação

As principais causas da tetraplegia são os acidentes de automóvel, os provocados por mergulhos de cabeça, por armas de fogo, por erros médicos e por acidentes vasculares cerebrais. O número de pessoas portadoras de tetraplegia é muito maior do que a maioria das pessoas imagina, pois esses indivíduos são frequentemente

mantidos nas suas residências, absolutamente isolados do mundo e quanto menos recursos financeiros estiverem ao seu dispor, menor será a acessibilidade destes às novas tecnologias assistidas, e portanto mais isolado estará o indivíduo[1].

Assim sendo, é indiscutível o valor da fisioterapia nestes casos. A Fisioterapia é individualmente um recurso terapêutico de primeira linha para o tratamento, habilitação e reabilitação do paciente, sendo necessária a presença mais assídua do fisioterapeuta nos casos mais graves. Será necessário explicar que apesar de haver uma lesão, é possível recuperar alguma função muscular. Isto porque devido aos traumatismos, muitos dos utilizadores perdem força nos músculos que ainda se encontram "vivos".

No entanto, devido à inacção, estão com uma força bastante reduzida. Mas, muitas vezes, os exercícios realizados durante o tratamento de fisioterapia chegam a ser pouco agradáveis e pouco motivadores. Daí a necessidade da parte lúdica para que exista melhoria na parte do controlo motor, mas principalmente na depressão que acompanha a doença.

Outros estudos na área da reabilitação, é a utilização de jogos que não é visto não só como método de motivação, mas também como um método capaz de proporcionar diversão e satisfação ao alcançar um objectivo ou a de concluir uma tarefa proposta. A partir destas premissas, pode-se então inferir que se o jogo proporciona ao paciente motivação, então é provável que este pratique cada vez mais os exercícios propostos [2].

Assim sendo, actualmente, a informática é considerada uma ferramenta que não se deve dissociar do trabalho terapêutico, pois constitui um importante instrumento a ser associado a um trabalho de habilitação, reabilitação, educação especial e integração do paciente no meio sociocultural [1].

Nas últimas décadas, o avanço da tecnologia tem vindo a melhorar os problemas das pessoas com deficiência. O aparecimento das cadeiras eléctricas, dos telemóveis para deficientes, melhora substancialmente a autonomia dos tetraplégicos. Os dispositivos destinados à interacção de portadores de deficiência não são muitos, mas no caso dos tetraplégicos ainda são menos, devido ao seu comprometimento dos membros superiores.

1.2 Melhorar a Reabilitação em Tetraplégicos

O objectivo deste trabalho desenvolver uma aplicação para os fisioterapeutas com mecanismos de monitorização, que permitem melhorar a noção da evolução do paciente, é estudar a população tetraplégica e as práticas tradicionais de reabilitação, podendo assim criar interfaces que permitem motivar os utilizadores nessa tarefa, permite também realizar uma avaliação dos movimentos realizados numa sessão de fisioterapia.

Optou-se por escolher as deficiências motoras com capacidades residuais ao nível dos membros superiores, uma vez que estes são os que mais afectam a sua autonomia em algumas situações do dia-a-dia.

Este trabalho tem como primeiro passo, a representação de um sistema que segue o indivíduo, que permite realizar um rastreio do movimento da câmara real e passá-la para 3D, de forma a colocar um cenário virtual para que ele tenha o mesmo movimento da cena filmada.

Durante o movimento realizado será possível o fisioterapeuta verificar se este está a ser realizado de forma adequada. Ou seja se as posições para o movimento do paciente se mantêm nas posições pré-definidas.

[1] Acessibilidade, NCE-UFRJ, retirado de http://www.prodam.sp.gov.br/acess/newbanc2.asp?noticias=394 a 1 de Setembro de 2009-09-28

1.2.1 Contribuições

Este trabalho permitiu, ao longo do seu percurso, adicionar as seguintes contribuições que podem ser de interesse para trabalhos futuros:

- Estudo sobre as necessidades das pessoas com dificuldades motoras, nomeadamente tetraplégicos, que nos permite perceber que tipos de dificuldades enfrentam e em que tipos de situações do dia-a-dia necessitam de maior ajuda, podendo assim identificar-se também diferentes cenários recorrentes onde a utilização de novas tecnologias centradas neste tipo de utilizadores pode realmente fazer a diferença de forma positiva.
- Estudo dos movimentos adequados para melhorar determinados aspectos fisioterapêuticos, sendo estes importantes para a gradação dos exercícios realizados na fisioterapia. Bem como os pontos adequados a serem analisados para cada um dos movimentos.
- Sistema de controlo dos movimentos dos tetraplégicos: Este sistema permite que exista uma representação tridimensional do paciente, realizando uma avaliação do movimento realizado com o movimento pretendido.

- Sistema de correspondência entre as localizações espaciais dos marcadores com os pontos das junções do esqueleto.
- Estudo junto das fisioterapeutas de quais os pontos e restrições que determinado movimento deve respeitar, para que o movimento possa ser executado com base na estabilização do neuro-eixo.

- Sistema que garante a coerência nos dados, como no caso de existir uma troca de fisioterapeutas, devido à capacidade de haver histórico do paciente.
- Sistema com capacidade de realizar uma avaliação com a mesma medida, o que torna a avaliação mais preciso do que a avaliação tradicional.
- Sistema com capacidade de detecção da evolução do paciente, devido à inserção de um mecanismo de compração de movimentos.

1.3 Publicações

O trabalho apresentado nesta dissertação, resulta em duas publicações uma nacional e outra internacional. Serão listadas de seguida por ordem cronológica de aceitação:

- Pereira, R., Guerreiro, T, Nicolau, H., Jorge, J., Gonçalves, D., *Laying the Groundwork for Assisted Rehabilitation ,* Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics (ECCE2010), Holanda, Agosto de 2010
- Pereira, R., Guerreiro, T, Nicolau, H., Jorge, J., Gonçalves, D., *Bases para reabilitação assistida ,* para a conferência de Interacção (Interacção2010), Portugal, Outubro de 2010

1.4 Estrutura da Dissertação

O restante desta dissertação é composto por mais cinco capítulos:

O segundo capítulo corresponde a uma contextualização do que é a tetraplegia e do seu processo de reabilitação.

No capítulo 3, realizamos alguns estudos preliminares onde realizamos uma concepção centrada nos tetraplégicos e nos fisioterapeutas. Ainda neste capítulo definimos junto dos fisioterapeutas linhas de orientação para a adição de um novo sistema ao sistema, para a avaliação de um movimento. Definimos ainda com os fisioterapeutas, pontos chaves no corpo do paciente que permitem uma melhor avaliação dos movimentos.

Depois foram realizados alguns estudos dos sistemas já existentes e identificados alguns aspectos importantes para a avaliação de um sistema de monitorização de movimentos.

No capítulo 5, descrevemos a aplicação criada, detalhando cada uma das componentes. Descrevemos também uma avaliação preliminar com os fisioterapeutas, e uma avaliação heurística.

Por fim, no capítulo 6, descrevemos a avaliação da aplicação com base em perguntas de investigação e os resultados a estas mesmas perguntas. São também apresentadas as principais conclusões desta investigação, assim como algumas sugestões para trabalhos futuros nesta área.

Capítulo 2

Trabalho Relacionado

O principal objectivo de o paciente realizar fisioterapia, é que este ganhe independência nos movimentos que realiza. O paciente deve-se adaptar à sua nova situação e a fisioterapia irá ajudá-lo nesta fase.

Até mesmos os tetraplégicos que só conseguem realizar movimentos do pescoço para cima podem adquirir uma certa independência, tendo um bom controlo da cabeça, que os vai ajudar na hora de vestir ou alimentar.

Mas para conseguir realizar tudo isso, é necessário muito esforço e dedicação, tanto do paciente, como do fisioterapeuta. A fisioterapia pode actuar logo no início, quando o paciente ainda está hospitalizado.

O fisioterapeuta ensina exercícios respiratórios e faz mobilização de todas as articulações, alongando e movendo todo o corpo. Todo este procedimento é fundamental para dar inicio à segunda fase da reabilitação, na qual ainda se mantém as articulações saudáveis de modo a prevenir deformidades, e deste modo melhorar a respiração do paciente que normalmente tem dificuldades em expandir a caixa torácica.

Nesta fase, o objectivo é ganhar todo o movimento possível, trabalhando tudo o que paciente consegue movimentar. Trabalha-se também a sua independência, ensinando como sair da cadeira, como locomover-se, alimentar-se, cuidar da higiene pessoal, não esquecendo a respiração, que é de grande importância.A terceira fase, designa-se por manutenção, e consiste na realização de alongamentos, mobilizações, e colocar o paciente em pé.

Na maioria das sessões de fisioterapia, são realizados apenas um único tipo de exercício. Este exercício é trabalhado durante uma hora, com intervalos de 5 a 15 minutos, para que o paciente consiga descansar. É necessário ter em conta que os exercícios variam de paciente para paciente, e de lesão para lesão. E normalmente as sessões repetem-se três vezes na semana. Mas sempre com aconselhamento de tentarem realizar exercícios em casa.

Sendo o principal objectivo desenvolver uma aplicação que ajude os fisioterapeutas a monitorizar o movimento dos seus pacientes, deparamo-nos logo com a necessidade de analisar alguns gestores de pacientes. Depois iremos analisar alguns sistemas informáticos já utilizados na fisioterapia de forma a conhecer quais os modos de monitorização que utilizam, bem como as suas capacidades. Por fim iremos nos preocupar com a parte lúdica, pois é necessário um aumento da motivação quer da parte dos pacientes bem como dos fisioterapeutas.

2.1 Sistemas de gestão

Actualmente a maior parte dos centros de fisioterapia não utilizam um sistema que guarde os dados dos pacientes, bem como a informação das sessões de fisioterapia. Na maioria dos casos, os fisioterapeutas registam este tipo de informação em suporte de papel. Os escassos recursos financeiros por parte dos centros ditam assim a enorme dificuldade sentida em obter um sistema de gestão.

2.1.1 Fisiosys Web

FISIOSYS WEB é um sistema dedicado a gerir, auxiliar, organizar e solucionar, com precisão e clareza, todas as necessidades de uma clínica de fisioterapia.

Desde 1996, este sistema tornou-se a solução mais completa para a gestão das necessidades de ambientes de fisioterapeutas. Desde uma simples clínica mono disciplinar ao mais complexo ambiente multi-profissional e multi-disciplinar. A sua criação e evolução em simultâneo com a informática e nos seus testes por diversas clínica, nunca perderam de vista a necessidade da simplicidade e segurança, alcançada através da especificidade, especialidade e personalização[1].

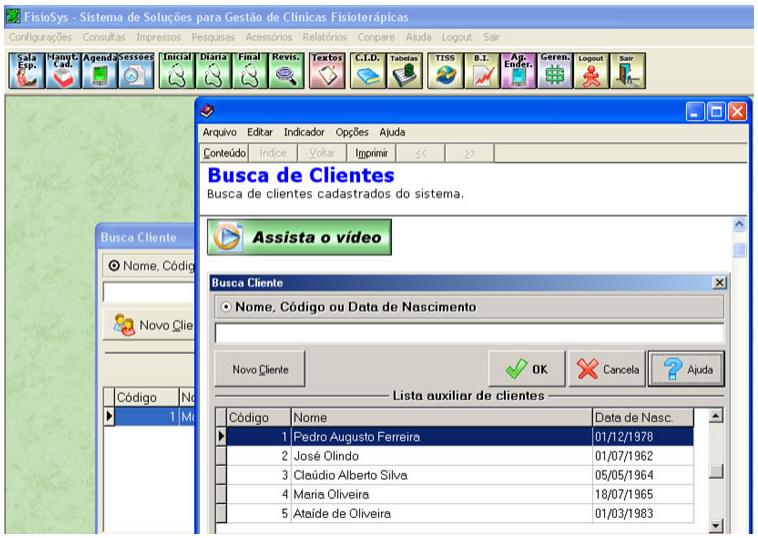


Figura 2.1: Sistema Fisiosys Web

Este sistema tem como principais vantagens:

- Desenvolvido exclusivamente para clínicas de fisioterapia.
- Interface de navegação agradável, intuitiva, inteligente e segura.
- Documentação interactiva com sons, textos e imagens para simular o seu conteúdo em funções, a funcionalidade de cada função resultando num treino agradável, contínuo e permanente.

[1]Sistema Fisiosys Web, retirado do link http://www.fisiosys.com.br a 19 de Dezembro de 2009

2.1.2 SONHO

O SONHO (Sistema de Gestão de Doentes Hospitalares), é um sistema dominante nos Hospitais em Portugal. É um sistema de gestão de dados administrativos dos doentes e surgiu para satisfazer as necessidades organizativas existentes no final da década de 80, e em boa medida, nos anos 90, no Sistema Nacional de Saúde. Foi desenvolvido no IGIF [2]e encontra-se instalado em quase todos os hospitais públicos.

Trata-se de uma aplicação especialmente vocacionada para o registo de dados administrativos (identificação, gestão de doentes e de consultas), a qual tem particular utilização – pela inexistência de outras aplicações – nos hospitais de pequena dimensão. A aplicação SONHO é também utilizada em 80% dos hospitais para a gestão da actividade do arquivo clínico: escolha de processos clínicos destinados à consulta, gestão do arquivo e gestão de requisição de processos (entradas e saídas no arquivo).

Não se notou um grande entusiasmo por parte dos utilizadores em relação ao manuseamento da aplicação, apontando-lhe como ponto fraco o seu carácter pouco amigável e a pouca utilidade já que não faz a gestão da informação clínica [9].

2.2 Software para Reabilitação

Recentemente, a medicina tem recorrido a sensores de monitorização do movimento e de força que permitem aos utilizadores incrementarem os tratamentos de diversas patologias, através de sistemas informáticos. Nesta secção vão ser descritos o Rutgers Arm, o TheraGame do TheraGames Group , o IREX, o Therapy Tiles, o Gamewheels, o CAREN e o VRRehab. Todos estes sistemas foram criados com o intuito de melhorar a reabilitação. Após a descrição de cada um, ainda vamos apresentar outra abordagem que tem surgido nos últimos anos: fisioterapia com acompanhamento remoto.

2.2.1 Rutgers Arm

A Rutgers Arm consiste na utilização de um computador, um monitor 3D, uma mesa de baixo atrito, conexão à Internet para a tele-reabilitação, e uma base de dados clínica. O sistema de rastreio é usado para monitorar os movimentos do braço do paciente.

Figura 2.2: Sistema Rutgers Arm

[2]Inst. de Gestão Informática e Financeira da Saúde

No início de uma nova sessão, é medida a amplitude do movimento do paciente usando um instrumento de base. O braço do paciente é colocado numa calibragem e este é instruído para executar um movimento da esquerda para a direita de forma a mexer os ombros. Durante este tempo, o movimento do paciente é fornecido através de um gráfico de barra horizontal. O processo é repetido para diferentes direcções no movimento. Estas gamas de valores são registadas num arquivo para posteriormente serem utilizados no mapeamento de trabalhos na área e para posicionar os objectos de realidade virtual.

De acordo com testes realizados, o sistema foi posteriormente modificado para aumentar a sua funcionalidade. A simulação dos exercícios foi melhorada para satisfazer também o braço esquerdo dos pacientes afectados. Uma das grandes limitações deste sistema, é que não foi suficientemente testado para que se chegue a conclusões mais gerais.

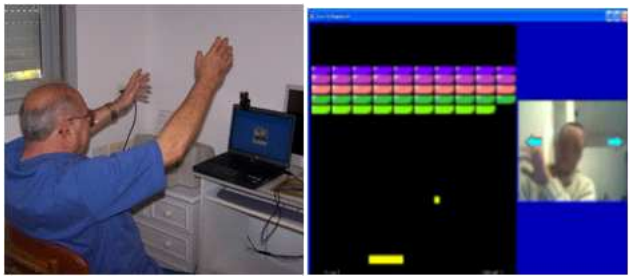
O sistema também é muito limitado, quer a nível de jogos, quer a nível de recuperação, pois só o poderão utilizar quem tem problemas num dos braços. Um dos pontos fortes é o facto de o sistema permitir que seja feito um teste inicial ao paciente para saber qual o nível dos jogos que se deve aplicar a este [11].

2.2.2 TheraGame

As limitações dos sistemas de realidade virtual para a utilização em casa foram um dos principais objectivos para o desenvolvimento do "TheraGame". TheraGame funciona num computador normal com uma simples webcam. Este sistema permite uma fácil e rápida definição de objectos virtuais e seus comportamentos. O utilizador necessita de se sentar em frente ao ecrã, onde irá se ver e usar os movimentos para interagir com os objectos virtuais.

O sistema baseia-se em baixos custos de produção, componentes tecnicamente simples e, portanto, é acessível a um vasto leque de consumidores em diferentes configurações culturais. Além disso, é possível aumentar a quantidade e a intensidade das simples tarefas que os doentes possam fazer a si próprios ou com o mínimo supervisão. Ao mesmo tempo, o sistema fornece um resultado exacto, monitorizando a situação do doente e de geração de programas individualizados para cada paciente. Igualmente é importante a sua utilização pela população saudável de todas as idades, permitindo-lhes exercer e manter um estilo de vida saudável de uma maneira agradável [10].

Tal como ilustrado na figura 2.3(b), as setas são exibidas numa área separada na do ecrã, que também exibe o utilizador. Desta forma estes recebem comentários de quanto tempo estão a carregar nas setas, e quanto tempo falta. Para além de fornecer uma plataforma para o desenvolvimento de novos jogos para TheraGame, o sistema permite a incorporação de jogos flash existentes[10].



(a) Paciente a utilizar o sistema (b) Jogo TheraSlide

Figura 2.3: Paciente a utilizar o TheraGame

2.2.3 IREX

O sistema IREX (Interactive Rehabilitation and Exercise System) coloca o paciente num mundo gerado por computador que permite movimentos circulares com os membros superiores e inferiores do corpo. O desenvolvimento de IREX é o resultado de muitas horas de trabalho por especialistas altamente qualificados. É uma tecnologia sofisticada, onde a câmara capta a imagem do paciente em frente de uma tela verde e apresenta-o num monitor de computador, permitindo assim que o paciente possa ver e interagir com eles movendo os objectos num ambiente virtual (Figura 2.4).

Figura 2.4: Exemplo da utilização do sistema IREX

O sistema não requer o uso de fios ou outros dispositivos periféricos, que impedem a liberdade total do movimento. O paciente deve ser orientado por um médico. Os exercícios consistem em programas desportivos, como futebol, voleibol, snowboard e outros exercícios orientados para a aventura. Os programas integram múltiplas facetas do movimento humano que incluem equilíbrio, coordenação olho-mão, flexão, rotação e outros movimentos funcionais[3].

2.2.4 Therapy Tiles

Therapy Tiles, desenvolvido por Henrik Hautop Lund, consiste num grupo de painéis, onde cada um contem um sistema robótico que utiliza redes neuronais (Figura 2.5).

O sistema reage quando o paciente pressiona os painéis com as mãos, e aos passos que o paciente possa dar por cima do grupo de painéis, permitindo que seja medido se o paciente pressionou com firmeza, ou se consegue mover-se com uma determinada velocidade. Também permite analisar o progresso do paciente, e compara-lo com o movimento ideal.

[3]IREX, GestureTek Health, retirado do link http://www.gesturetekhealth.com/pdfs/irex_productsheet.pdf a 6 de Outubro de 2008

Figura 2.5: Exemplo da utilização do Therapy Tiles

A principal vantagem deste sistema é o facto de motivar o paciente a fornecer uma resposta imediata a todos os seus movimentos, podendo obter o feedback do seu progresso.

Outra vantagem é a fácil adaptação dos painéis a todas as superfícies. Estas podem ser utilizadas no chão, nas paredes, dependendo do jogo e do espaço em que é realizado.

Também deve-se destacar como aspecto positivo mas que ainda está em desenvolvimento, o facto de o sistema perceber em que ritmo o paciente deve jogar, ou seja, se o paciente ficar cansado durante o jogo, este irá adaptar o jogo para um nível de dificuldade menos elevado, até que o paciente consiga descansar [21].

2.2.5 Gamewheels

GameWheels é um sistema de jogos interactivos para pacientes com lesões na coluna vertebral. O sistema torna possível que os utilizadores de cadeiras de rodas consigam jogar.

Este sistema é composto pelo SmartWheel , que é uma cadeira de rodas que permite a recolha das forças de propulsão aplicada ao *pushrim* (corrimão exterior à roda, que serve para reduzir a força aplicada na cadeira de rodas) (Figura 2.6).

Figura 2.6: Paciente a utiliza o SMARTWheel

GAMEWheel é um recurso utilizado para utilizadores de cadeiras de rodas manuais, e permite que a cadeira de rodas possa jogar outros jogos comerciais. Este sistema permite que qualquer jogo de computador possa ser utilizado, dando impulso à cadeira de rodas. Este impulso pode ser impulso pode ser alterado consoante o jogo que o paciente pretende jogar.

Os resultados demonstraram melhoras na condição física numa amostra de pacientes com lesões na coluna vertebral, com amputações, ou até doenças nervosas [17].

2.2.6 CAREN- Computer Assisted Rehabilitation Environment

Este sistema de realidade virtual, coloca os pacientes no controlo de um jogo cujas dimensões parecem reais, e obriga o paciente a usar todos os músculos atrofiados, promovendo todas as habilidades básicas para a recuperação das suas lesões.

O sistema proporciona ao paciente um ambiente físico e virtual, utilizando pequenos sensores colocados no corpo do paciente e simula actividades do dia-a-dia como fazer uma caminha num ambiente urbano, dirigir um carro, realizar caminhadas subindo e descendo montanhas, ou seja todos os cenários possíveis para ensinar o paciente a manter-se equilibrado e a reagir a situações que irá encontrar no mundo real (Figura 2.7).

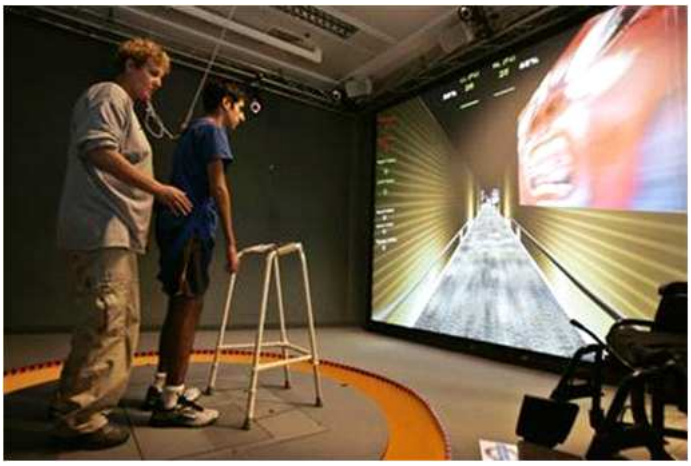


Figura 2.7: Paciente a utilizar o CAREN

Os médicos que utilizam este sistema dizem que este ajuda os seus pacientes manterem os seus cérebros e corpos activos, e que este processo é muito mais rápido do que os métodos tradicionais de reabilitação. Os cenários utilizados conseguem permitir que o paciente se mantenha distraído da dor e envolvem uma coordenação mais complexa do que o normal na fisioterapia, tornando possível aos médicos avaliarem o progresso do paciente [7].

2.2.7 VR Rehab - A Virtual Reality rehabilitation

O sistema VR Rehab baseia-se num jogo da Xbox desenvolvida pela Microsoft e no Essential Reality P5 Data Glove (Figura 2.8). Este sistema detecta os movimentos dos dedos da mão e do punho, utilizando estes dados para manipular os objectos que aparecem no ecrã.

O jogo com a luva é menos preciso do que outros desenvolvidos especificamente para fins de reabilitação, e ao contrário dos sistemas mais caros não fornece um feedback táctil.

Figura 2.8: Essential Reality P5 data glove

Uma vantagem importante dos processos de reabilitação VR consiste na promoção de envolvimento dos pacientes em que faltam a motivação necessária para realizar os exercícios de reabilitação convencional [4].

[4]VR-REHAB acessado do link http://neurophilosophy.wordpress.com/2006/08/30/a-virtual-reality-rehabilitation-system a 12 de Março de 2010

2.2.8 FisiMETRIX

FisiMetrix é um software específico para Fisioterapia, que tem por objectivo facilitar o quotidiano do fisioterapeuta disponibilizando a Avaliação Postural-Ortopédica através de fotografias, utilizando medidas e ângulos de modo a auxiliar o fisioterapeuta no acompanhamento do doente.

O sistema permite que através de uma fotografia, e após a selecção de alguns pontos que serão analisados, o paciente tenha noção se está com a postura correcta ou não[5].

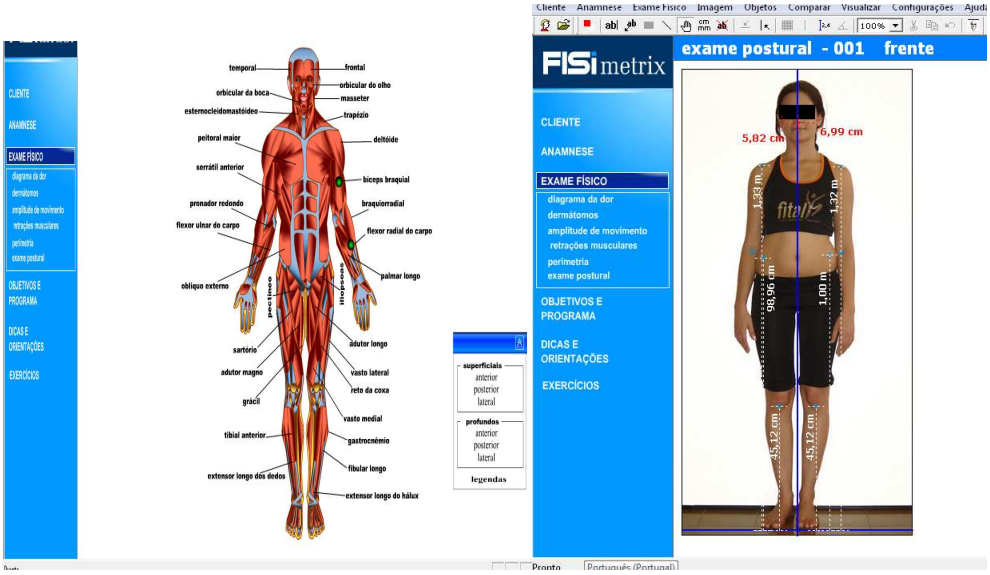


Figura 2.9: Sistema FisiMETRIX

As suas principais vantagens são:

- Software de fácil utilização, operações intuitivas, manual impresso e ajuda on-line.
- Avaliação postural e ortopédica rápida, dinâmica e precisa com o auxilio de imagens.
- Relatórios de fácil compreensão, para o clínico e o paciente, e possibilidade de comparação entre as avaliações do cliente num mesmo ecrã, permitindo ao terapeuta demonstrar o progresso de seu trabalho.
- Exercícios que podem ser disponibilizados ao cliente em DVD ou em CD-ROM actuando como uma ferramenta de reforço e orientação para que os movimentos sejam feitos correctamente, bem como uma poderosa ferramenta de marketing para a empresa ou serviço.
- Ferramentas para edição de imagens (importar, editar, copiar, colar, recortar, zoom, ajuste de cores, nitidez entre outras)
- Impressão de relatórios, bem como de relatórios auxiliares como Diagrama de dor, Dicas e Orientações.

[5]Sistema FisiMETRIX retirado do link http://www.ctsinformatica.com.br/#empresa.html a 19 de Dezembro de 2009

2.2.9 Fisioterapia com acompanhamento remoto

Muitos são os sistemas de tele-saúde que pretendem estabelecer uma ligação entre a casa do paciente com centros de saúde. Mas, nestes últimos anos é que se tem notado um acréscimo de sistema de tele- reabilitação.

No sistema descrito por Fergus et al.[8],os pacientes necessitam sempre de colocar sensores no seu corpo para que os dados possam ser recebidos no centro de fisioterapia. Deverão também colocar um hub junto de si, para que sejam recolhidos os dados dos sensores. Este hub é responsável por uma serie de funções, tais como guardar a amostra de dados e reduzir o ruído (Figura 2.10).

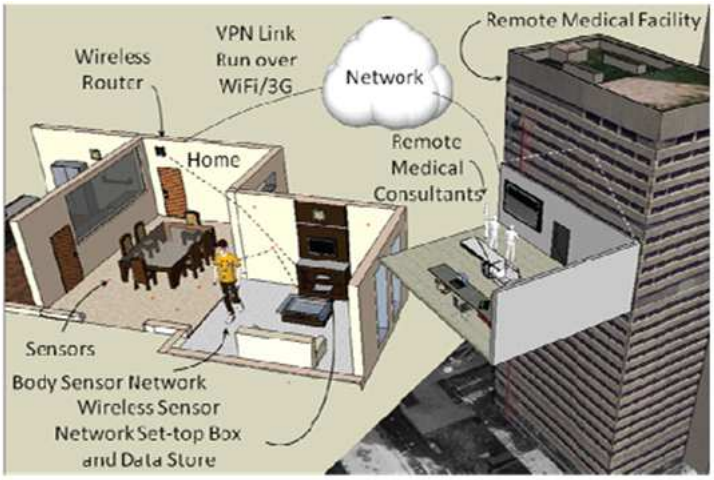


Figura 2.10: Exemplo da técnica tele-reabilitação

Na casa do paciente também será necessário instalar uma rede de sensores. O hub colocado no corpo do paciente irá funcionar como uma ligação entre a rede doméstica e os sensores do corpo.

O fisioterapeuta, remotamente, recebe os dados que ficam guardados na sua estação de trabalho. Isso permite que possam aceder às sessões anteriores, podendo comparar o seu progresso ao longo do tempo.

Os dados são apresentados por um modelo 3D e podem ser visualizados em qualquer dispositivo da casa, como uma televisão ou um telemóvel. Estes dados são transmitidos para o fisioterapeuta em tempo real, permitindo assim que o fisioterapeuta consiga monitorizar o progresso, e realizar recomendações sobre a sessão (Figura 2.8).

Figura 2.11: Representação do paciente

Uma grande desvantagem deste sistema é em relação ao tamanho da casao que pode tornar a conectividade do sistema reduzida [8].

Seguindo a mesmo abordagem, Zhang et al.[28] apresenta um outro sistema que é utilizado na reabilitação de doente vítimas de acidente vascular cerebral, e que foi projectado para a utilização em casa.

A trajectória do movimento é enviada em tempo real para os fisioterapeutas. Este último assiste ao vídeo com uma representação 3D. Após a visualização, o fisioterapeuta, poderá recomendar correcções ao movimento bem como planos adicionais de terapia.

Uma verdadeira interface de videoconferência, é inserida neste sistema para que as instruções dos terapeutas aos pacientes sejam em tempo real.

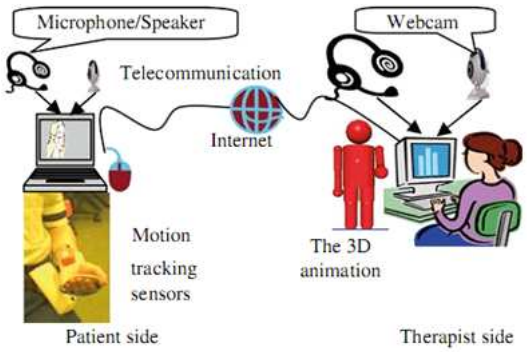


Figura 2.12: Configuração do sistema.

O sistema proposto integra várias funções, como estimar o movimento do membro humano, incluindo a detecção do movimento, e a sua representação tridimensional, e ainda as comunicações de vídeo e áudio.

O sistema de seguimento do movimento utiliza dois sensores inerciais, para perceber qual a orientação e localização do movimento do braço. Os exercícios proposto para avaliar o seu funcionamento, são por exemplo, alcançar uma bebida, ou então o recolher de um objecto [28].

2.3 Jogos usados na Reabilitação

Após a descrição anterior de alguns sistemas usados na reabilitação, também serão mencionados aqui alguns jogos bem conhecidos e que pretendem motivar o paciente enquanto este realiza a sua sessão de fisioterapia. Há que destacar, que estes não foram desenvolvidos a pensar na reabilitação, mas que rapidamente tornaram-se usados para este fim.

2.3.1 Wii

A Nintendo Wii representa uma inovação na forma como os jogadores interagem com os jogos. Tal é possível, através da utilização de um dispositivo remoto, o Wii Remote, que prevê uma forma mais familiar e realista dos meios de controlo e de interacção, ou por um acessório em forma de balança, o Wii Balance Board (Figura 2.13).

(a) – Utilizador a jogar com o Wii Remote (b)- Utilizador a jogar com o Wii Balance Board

Figura 2.13: Utilizadores com a Wii

O Wii Remote, contém um sensor capaz de detectar o movimento e a rotação em três dimensões, enquanto que o Wii Balance Board contem quatro sensores de pressão, e funciona semelhante a uma balança, capaz de analisar o peso, o IMC (Índice de Massa Corporal), situar o centro de gravidade e calcular a idade virtual de acordo com a postura e equilíbrio dos jogadores. Por seu lado, o Wii Fit estimula os utilizadores a praticar, de forma saudável e divertida, exercícios físicos com a família e os amigos. O dispositivo Wii Balance Board é capaz de perceber quando uma pessoa se move ou inclina, permitindo que os jogadores dêem cabeçadas em bolas de futebol virtuais e façam as suas personagens saltarem no ecrã [6].

Importa referir que estes modelos estão a ser aplicados nos procedimentos terapêuticos de modo a ajudar os pacientes a recuperar dos acidentes que tenham sofrido, designadamente ataques cardíacos, lesões de combate e outros tipos de cirurgias.

"Wiihabilitação" é então a designação que se tem atribuído a este método que pretende acima de tudo que os pacientes adquiram as capacidades perdidas nos vários tipos de acidentes (Figura 2.14). Ao usar um comando, a Wii puxa pelos utilizadores, ao mesmo tempo que lhes proporciona uma experiência agradável. Como afirmou James Osborn, do Hospital Herrin, nos EUA, "O sistema Wii, ao ter um formato de jogo, cria uma competitividade interior".

Figura 2.14: Fisioterapia com a Nintendo Wii

Já os tradicionais exercícios de recuperação podem ser considerados como demasiado repetitivos e assim

[6] Pernambucanas, Wii Fit com Wii Balance Board Nintendo, retirado do link http://www.pernambucanas.com.br/Games/Wii-Fit-com-Wii-Balance-Board-Nintendo/228407.prod#descricaodescrição a 2 de Outubro de 2008

conduzir a uma rápida perda de interesse. Interessa referir contudo que, os exercícios realizados quer numa técnica como na outra não diferem muito.

O método não vale para todos os casos, e realmente não substitui a fisioterapia. Entretanto, o simples facto de se poder divertir e conseguir visualizar melhoras no seu desempenho já serve para que o paciente tenha uma melhor condição de vida e uma recuperação mais agradável. Apesar dos dados na recuperação não serem concretos, o próximo passo é realizarem uma análise comparativa entre os pacientes tratados com Wiihab e outros tratados pelo método tradicional.

Apesar de tudo, a Nintendo está a desenvolver o Wiihab e os fisioterapeutas têm recorrido ao Wii ou ao WiiFit para realizar o tratamento dos pacientes.

2.3.2 EyeToy

Um outro modelo em que a reabilitação se torna um foco é o EyeToy da Sony.

Com a ascensão de técnicas de visão computacional (webcam) e avanços nos sistemas, tais como a alegação de que o EyeToy incide sobre o corpo como a interface, são uma oportunidade para os terapeutas incluírem na sua formação.

O EyeToy é um sistema de baixo custo e de fácil configuração, são vantagens que incentivam a sua utilização na reabilitação, destinando-se assim a uma ampla faixa de população e não apenas para principal alvo, as crianças. É também essencial para verificar se os níveis de esforço evocados por esta aplicação estão dentro da capacidade do doente fisiológico [3].

Relativamente aos jogos, o EyeToy contém, jogos de futebol, lavagem da janela, dança, e cenários que exigem que o utilizador realize movimentos corporais, que permite bloquear bolas, eliminar manchas na janela, ou até mesmo movimentos utilizados na dança (Figura 2.15).

Figura 2.15: Exemplos de jogos do EyeToy

Após alguns estudos realizados ao EyeToy em relação a outros sistemas, demonstraram que as vantagens que o destacam dos demais baseiam-se no facto de o este sistema ser de baixo custo, fácil para os utilizadores explorarem, interessante, motivador e agradável. Não há dúvida de que estes aspectos são todos muito valiosos durante a reabilitação de pacientes [26].

Motivados, os pacientes seriam incentivados a praticar movimentos repetitivos, melhorando assim a sua condição física. Isso não é fácil de alcançar através da terapia convencional.

Outro aspecto positivo é a expressão do rosto do paciente dando uma definida afirmação da sua presença na interacção com o conteúdo do jogo, que é gratificante e principalmente um desafio para as suas competências.

Uma das suas principais desvantagens é o aborrecimento que este sistema pode trazer, pois ou os jogos são muito fáceis, ou então são quase impossíveis de se terminar com sucesso. Este sistema também se torna muito difícil de manipular consoante o tipo de claridade que se encontre na sala, ou o número de pessoas presentes. Logo, o que pode ser uma vantagem para os pacientes, também se torna uma limitação na sua reabilitação [3].

2.3.3 Vivid Gesture Extreme

O Vivid Gesture Extreme (Vivid GX), desenvolvido pelo Vivid Groups, foi inicialmente pensado como um sistema de entretenimento, destinado a demonstrar a realidade virtual na ciência, museus e exposições populares, onde através de um ecrã o indivíduo é representado. Alguns estudos referem que, após a utilização deste tipo de tecnologia, registou-se melhorias efectivas na manutenção do equilíbrio, assim como se detectou um grande entusiasmo na utilização deste sistema no processo terapêutico, vindo-se a verificar uma maior motivação durante a execução do exercício e o aumento dos níveis de confiança.

Utilizando o sistema Vivid GX, é possível o treino a nível funcional das extremidades do corpo, por exemplo um indivíduo em cadeiras de rodas pode fazer diversos tipos de treino que vai permitir uma evolução quer na manutenção do equilíbrio do tronco, quer no desenvolvimento de agilidade dos membros superiores de forma a poder adaptar-se mais facilmente ao meio e necessidades inerentes. O mesmo caso pode ser aplicado a indivíduos que sofreram uma trombose num dos hemisférios do cérebro.

Há sistemas para permitir a reabilitação quer na mão, quer no tornozelo, onde durante o período de tratamento, pode-se variar a resistência aplicada, a velocidade e os diferentes movimentos a executar. Estudos sugerem que estes sistemas podem aumentar a reabilitação mesmo em fases crónicas [4].

Uma característica do sistema que incentiva a sua utilização na intervenção é o facto de que o utilizador visualiza-se a participar activamente no âmbito do meio ambiente, em vez de estar a ser representado por um avatar. O uso da imagem do próprio utilizador foi sugerido para adicionar ao realismo do meio ambiente e estimular o sentimento de presença.

Outro aspecto importante diz respeito à forma como o utilizador controla os seus movimentos dentro dos ambientes virtuais, em vez de depender de um dispositivo apontador ou tracker(Figura 2.16). A navegação com o Gesture Extreme é realizada de uma forma totalmente natural. Não só é o controlo de movimentos mais naturais, que também envolve o uso de tantas partes do corpo como são considerados adequados para os objectivos terapêuticos.

Figura 2.16: Exemplo do jogo Birds and Balls

O sistema Vivid Gesture Extreme tem várias limitações que deverão ser tidas em conta aquando considerando o uso deste sistema em reabilitação. Primeiro pelo facto de ser em duas dimensões, e depois o feedback visual e auditivo não ser utilizado em situações onde poderia motivar mais, como por exemplo, quando o utilizador toca na bola e esta rebenta.

Como aspecto positivo, é importante referir o facto de o utilizador poder tocar na bola com qualquer parte do corpo, de este se visualizar no ambiente e não a utilização de um avatar, e de controlar directamente os seus movimentos [19].

2.3.4 Cybex TRAZER

A Cybex TRAZER utiliza um sistema de monitorização óptica infravermelho que captura os movimentos realizados em frente ao dispositivo através de um cinto . Os jogos são apresentados num monitor de vídeo, e permitem melhorar a agilidade, a coordenação, o equilíbrio, a vivacidade e a velocidade[7].

Este sistema utiliza sensores ópticos e o seu software é baseado na realidade virtual para facilitar o exercício profissional, o desporto e treinos de reabilitação (Figura 2.17).

Figura 2.17: Pacientes a utilizarem o Cybex TRAZER.

Um dos jogos desenvolvidos foi o "Trap Attack", onde obriga os utilizadores a se deslocarem num tabuleiro de

[7] Faith Regional Health Services, A New Reality for Rehabilitation, retirado do link http://www.frhs.org/rehab_equip.html a 6 de Outubro de 2008

xadrez virtual. É possível jogar com uma configuração básica de dificuldade, por exemplo o cursor move-se com relativa lentidão, alterando a dificuldade, este irá mover-se com mais rapidez.

Enquanto o utilizador está a jogar, é medido o seu tempo de reacção, aceleração, velocidade, força, equilíbrio, agilidade, a altura de um salto, duração, frequência cardíaca e as calorias perdidas. Estas estatísticas são exibidas e guardadas após a conclusão de cada exercício, uma característica que permite graves atletas, convalescentes e crianças de quantificar o seu desempenho e monitorar seu progresso[8].

2.4 Discussão

Como foi possível observar, nos sistemas apresentados anteriormente, não conseguimos destacar um sistema que contenha no software para reabilitação um sistema de gestão. Tornando-se necessário então, destacar a discussão dos sistemas de gestão dos softwares para reabilitação.

Neste caso, como aspectos relevantes nos sistemas de gestão, destacamos os seguintes:

- Custo: É o aspecto que mais influência a compra de um sistema deste tipo
- Interface: Aqui pretendemos descrever como é classificada o aspecto e o funcionamento da interface.
- Histórico das sessões: É importante saber se existe os dados de todas as sessões, para posterior avaliação do paciente.
- Localização: É necessário saber se foi pensado para a utilização em centros de fisioterapia, ou para os centros hospitalares.

	Fisiosys Web	SONHO
Custo	Elevado	Elevado
Interface	Agradável	Pouco Agradável
Histórico das sessões	Sim	Sim
Localização	Clinica de fisioterapia	Hospitais

Tabela 2.1: Comparação dos Sistemas de Gestão

Em relação aos sistemas de gestão (Tabela 2.1) só foram comparados os aspectos custo, interface, histórico das sessões e localização.

Quer o Sistema Fisiosys Web, como o Sistema SONHO são sistemas de custo muito elevado. O que faz com que a maior parte das clínicas de reabilitação não os possa adquirir.

No que respeita à interface, o sistema Fisiosys Web tem um aspecto mais agradável, e um funcionamento intuitivo do que o sistema SONHO. Este é um dos grandes factores do desagrado do sistema SONHO [14].

Em relação ao histórico das sessões, ambos têm este aspecto em conta, mas os dados guardados das sessões são apenas observações colocadas pelo médico/fisioterapeuta.

Quanto à sua localização, podem ser utilizados numa clínica de fisioterapia no caso do Fisiosys Web ou num hospital no caso do SONHO.

[8] Presence Examples, Cybex TRAZER vr exercise machine, retirado do link http://www.temple.edu/ispr/examples/ex05_02_11.html a 6 de Outubro de 2008

Nesta secção e após termos vistos alguns dos sistemas utilizados na reabilitação, vamos apresentar um conjunto de aspectos que consideramos mais relevantes para facilitar uma comparação dos modelos mencionados anteriormente.

Os aspectos que destacamos são:

- Custo: Em relação ao custo é necessário termos em conta que os sistemas para a área são sempre caros. Mas este é um aspecto muito importante, e que na maioria dos casos faz com que os fisioterapeutas escolham um determinado sistema.
- Representação do Paciente: Este aspecto deve-se ao facto do feedback que o sistema pode trazer ao paciente. Quando se fala em representação do paciente, queremos destacar os sistemas que representem o paciente, com a sua própria imagem, ou com uma animação 3D.
- Histórico das sessões: É importante saber se existe os dados de todas as sessões, para posterior avaliação do paciente.
- Avaliar os Movimentos: Este aspecto é um pouco relativo, uma vez que alguns dos sistemas não foram criados com o propósito de serem utilizados na reabilitação do paciente.
- Mostrar informações em tempo real: Este aspecto tal como a representação do paciente, permite que o paciente receba um feedback enquanto realiza o movimento.
- Comparação dos Movimentos: Entende-se com este aspecto que o sistema permita seleccionar os movimentos que quer analisar e conseguir identificar quais as suas diferenças.
- Localização: Pois alguns sistemas podem só ser utilizados nos centros de fisioterapia.

De seguida vamos apresentar a tabela comparativa dos softwares para reabilitação de acordo com os aspectos referidos anteriormente.

	Rutger Arm	TheraGame	IREX	Therapy Tiles	Gamewheels	CAREN	VR Rehab	FisioMetrix	Acompanhamento Remoto
Custo	Elevado	Baixo	Baixo	ND	ND	Elevado	Elevado	Elevado	Elevado
Representação do Paciente	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim
Histórico das sessões	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim
Avaliar Movimentos	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
Mostrar Informação em tempo real	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Comparação dos Movimentos	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Localização	Casa/ C.F	Casa	C.F	Casa/ C.F	Casa/ C.F	C.F	C.F	C.F	Casa

Tabela 2.2: Comparação dos Softwares para Reabilitação

No que respeita aos Softwares para Reabilitação (Tabela 2.2) comparamos todos os sistemas, mencionando todos os aspectos referidos anteriormente. Olhando para o aspecto do custo, podemos reparar que a maior parte dos sistemas são de custo elevado, e por custo elevado entende-se que ultrapasse os 1500€. Em relação à representação do paciente, pretende-se que o paciente receba um feedback ou através da sua imagem ou até por uma representação 3D. Por exemplo o sistema IREX tem uma representação do paciente através da sua imagem, já no acompanhamento remoto a representação do paciente é feita através de uma animação tridimensional.

Quanto ao histórico das sessões, a maioria dos sistemas não teve esta preocupação. O sistema FisiMETRIX teve em conta este aspecto, que fica registado junto das fotografias introduzidas. Já o sistema de acompanhamento remoto guarda os vídeos das sessões no terminal do fisioterapeuta, permitindo assim que este consiga perceber qual a evolução do paciente.

No que concerne à avaliação dos movimentos só o sistema FisiMETRIX o faz. Neste caso é necessário adicionar uma fotografia ao sistema, identificar alguns pontos na fotografia, e são calculados todos os ângulos para uma postura correcta do paciente. A única desvantagem passa por este sistema não realizar esta avaliação a partir de um vídeo, ou seja, com o paciente em movimento.

Já em relação ao aspecto de mostrar informação em tempo real, todos os sistemas se preocuparam em dar indicações ao paciente enquanto este realiza o movimento. No que respeita à comparação dos movimentos o sistema Therapy Tiles teve esta preocupação. Este sistema realiza uma comparação com o movimento ideal, informando ao paciente quando este o realiza da melhor forma.

Para finalizar, no que diz respeito à localização alguns sistemas permitem a sua utilização quer no centro

de Fisioterapia (C.F) quer na casa do paciente. O facto de o paciente poder utilizar o sistema na sua casa pode trazer conforto ao mesmo, mas para o fisioterapeuta o processo de análise do movimento pode não ser tão preciso. No caso do acompanhamento remoto esta análise do movimento acaba por ser o melhor método para facilitar o trabalho do fisioterapeuta.

De seguida vamos apresentar a comparação dos jogos usados na reabilitação (Tabela 2.3), face aos aspectos já mencionados.

	Wii	EyeToy	Vivid GX	Cyber TRAZER
Custo	Baixo	Baixo	Baixo	Elevado
Representação do Paciente	Sim	Sim	Sim	Não
Histórico das sessões	Sim	Não	Não	Sim
Avaliar Movimentos	Sim	Não	Não	Não
Mostrar Informação em tempo real	Sim	Sim	Sim	Sim
Comparação dos Movimentos	Não	Não	Não	Não
Localização	Casa/ Centro de Fisioterapia	Casa/ Centro de Fisioterapia	Casa/ Centro de Fisioterapia	Casa/ Centro de Fisioterapia

Tabela 2.3: Comparação dos Jogos para Reabilitação

No que respeita aos jogos usados na fisioterapia, foram destacados no trabalho relacionado a Wii, o EyeToy, o Vivid Gesture Extreme, e o Cybex TRAZER.

O custo destes sistemas são baixos, ou seja não ultrapassa os 200€, com excepção do Cybex TRAZER, cujo o seu preço ronda os 4 513€ [24], o que se torna uma grande despesa para o paciente.

No que concerne à representação do movimento todos os sistemas com excepção do Cybex TRAZER o fazem. No caso da Wii, é feito através da representação tridimensional, e no caso do Eyetoy e do Vivid GX é feita através da imagem do paciente obtida a partir de uma webcam.

Já em relação ao histórico das sessões a Wii e o Vivid GX tiveram este aspecto em conta, mas no caso da Wii só são guardadas as pontuações dos pacientes. No que diz respeito à avaliação do movimento, a Wii, foi o único sistema que se preocupou com este aspecto, realizando-o de uma maneira simples e divertida, através dos jogos. Quanto ao feedback em tempo real, todos os sistemas mostram ao paciente indicações na altura em que este está a jogar, apesar de no caso do Vivid GX ainda existirem algumas limitações.

Como se pode notar o aspecto comparação dos movimentos não foi tido em conta nestes sistemas, uma vez que estes não tinham o propósito de serem utilizados na reabilitação. Por último, importa sublinhar que todos estes sistemas foram criados para a utilização em casa do paciente, e posteriormente utilizados nos centros de fisioterapia (C.F).

2.5 Conclusão

De acordo com o que foi apresentado neste capítulo, podemos observar que não existem sistemas utilizados na fisioterapia com funcionalidades de monitorização de movimentos em conjunto com um sistema de gestão.

A aquisição de um sistema de gestão de pacientes, por si só, tem um custo muito elevado que normalmente os centros de fisioterapia não os conseguem adquirir. Num sistema de gestão destacamos como aspectos importantes, o custo, a interface, a capacidade de manter um histórico do paciente, e a sua localização. De acordo com estes aspectos analisamos que o sistema que melhor se adequa é o Fisiosys Web, apesar de ter um custo muito elevado.

Em relação a softwares usados na reabilitação, destacamos aspectos para analisar como, o custo, a representação do paciente, a capacidade de manter histórico das sessões, a capacidade de avaliar os movimentos, mostrar informação em tempo real, a comparação dos movimentos, e a localização. Dos sistemas que destacamos, nenhum apresenta todos os aspectos.

Por fim, analisamos alguns jogos usados na reabilitação, e analisamos os mesmos aspectos para a avaliação dos softwares de reabilitação. Destes jogos, destacamos como o melhor em relação a estes aspectos, a Wii, com a excepção de que não realiza comparação de movimentos.

Capítulo 3

Desenho Centrado no Utilizador

O desenho centrado no utilizador é um processo onde às necessidades, desejos e limitações dos utilizadores finais são dados relevância em cada etapa do processo de concepção. Pode então, ajudar a melhorar a utilidade e a usabilidade de tudo que é interagido pelo utilizador [16].

3.1 Contexto

De seguida, debruçamo-nos numa pequena introdução do que realmente é a tetraplegia, o que acontece à coluna de um portador de tetraplegia e do processo da reabilitação que os tetraplégicos têm que passar.

3.1.1 Tetraplegia

A tetraplegia é uma paralisia que afecta todas as quatro extremidades, superiores e inferiores, juntamente à musculatura do tronco. À impossibilidade de se mover os membros associam-se, em grau variável, distúrbios da mecânica respiratória, podendo causar demência leve [1].

Segmentos da Coluna Vertebral

A coluna vertebral é a estrutura que promove sustentação para a postura erecta, constituindo uma manga protectora, porém flexível para a delicada medula espinhal, além de assegurar locais para a fixação de músculos e servir para transferir e atenuar cargas da cabeça, tronco e membros inferiores. É composta por 33 vértebras, das quais 24 são unidas para formar a coluna flexível. Sendo que estão subdivididas em: sete cervicais (C1-C7), doze torácicas (T1-T12), cinco lombares (L1-L5) e quatro coccígeas (Figura 3.1). A coluna vertebral do adulto apresenta quatro curvaturas fisiológicas no plano sagital: cervical, torácica, lombar e sacral [20].

[1] Wikipédia - Tetraplegia retirado de http://pt.wikipedia.org/wiki/Tetraplegia a 12 de Outubro de 2010

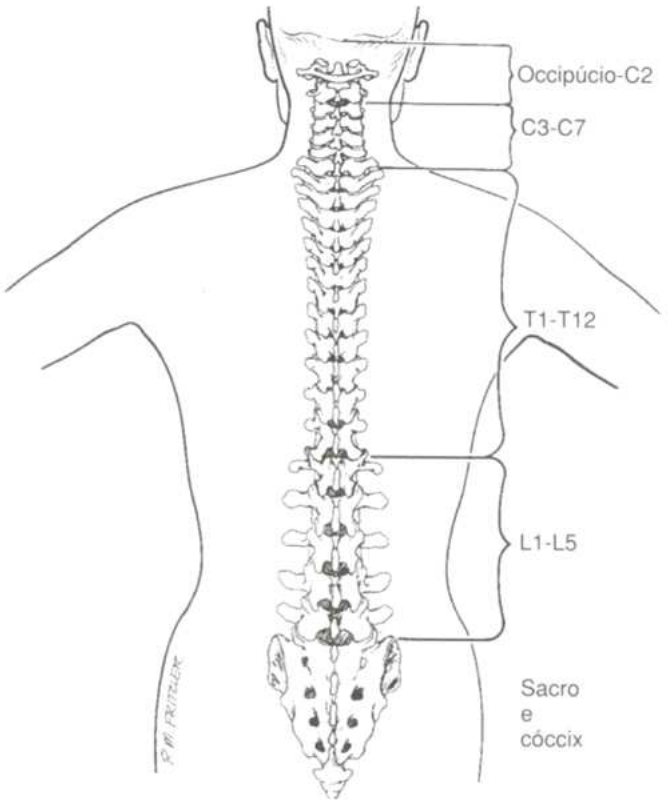


Figura 3.1: Coluna Vertebral

Lesão Medular

A tetraplegia é uma das limitações físicas mais severas, na qual ocorre a perda em maior ou menor grau, do movimento dos braços e pernas do indivíduo.

Quando a lesão situa-se nos segmentos cervicais inferiores e envolve a metade anterior da coluna vertebral a paralisia dos braços pode ser do tipo flácida e arrefléxica e a das pernas, do tipo espástica. Em geral, há dor no pescoço e nos ombros, assim como dormência nas mãos.

As situações que provocam a tetraplegia são muitas, mas quase todas têm a ver com danos a uma secção da medula na coluna cervical.

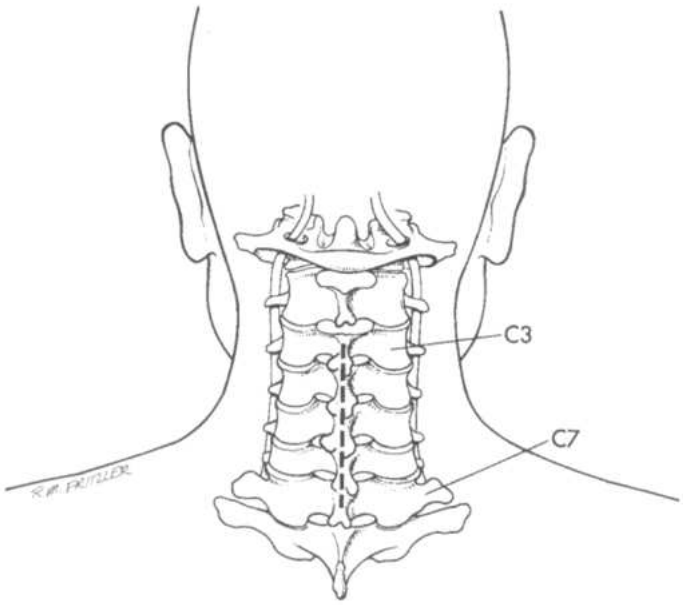


Figura 3.2: Região da zona geralmente afectadas por tetraplégicos

Existem sete vértebras no pescoço, e cada uma destas é normalmente abreviada com a letra "C", C1-C7 (Figura 3.2). Se a lesão for entre C1-C5, é considerada uma tetraplegia alta, e de C6-C7 uma tetraplegia baixa.

É importante notar que a medula espinal, não tem de ser completamente rasgada para que haja uma perda de função. De facto, a medula espinhal permanece intacta na maioria dos casos.

Uma lesão do tipo C1-C3, normalmente resulta de uma paralisia completa de todos os membros, e em muitos dos casos, é necessário a ajuda de ventilação para respirar. Quando a lesão é do tipo C4-C5, normalmente resulta numa paralisia completa do peito para baixo e a maioria dos pacientes têm os movimentos dos ombros, dos braços e dos dedos limitados, sem conseguirem realizar extensões do punho. Para lesões C6-C7, os pacientes ficam menos limitados do que as C4-C5, sendo que a força de braços é um pouco melhor, mas ainda sem conseguirem realizar extensões do punho [20].

Em todos os casos pode ocorrer uma perca da força muscular e sensibilidade nas mãos, o que torna os tetraplégicos muito dependentes no seu dia-a-dia.

Com os processos fisioterapeutas, esta dependência pode melhorar significativamente, mas não resulta numa independência total.

3.1.2 Reabilitação

Apesar de grande parte das lesões serem para já irreversíveis, é comum uma pessoa tetraplégica recorrer à fisioterapia para recuperar algumas funções musculares que entretanto ficaram afectadas. A fisioterapia permite-lhes despertar e reforçar padrões de resposta, atendendo ao ritmo de aparecimento e de reforço a que

as mesmas acontecem. Por exemplo, não se pode reforçar um padrão de marcha se a estabilidade da bacia for inexistente. Quem comanda a periodicidade e a carga a aplicar em cada treino é o corpo do paciente.

Ao fisioterapeuta cabe o papel de observar, interpretar e dirigir a acção para optimizar a resposta do paciente. No entanto, estes processos terapêuticos são longos e implicam grande dedicação e motivação por parte do paciente. Consistem ainda na realização de padrões de movimento repetitivos, o que pode ser um factor de desmotivação.

3.2 Análise de tarefas

Actualmente, a maioria das aplicações de realidade virtual na reabilitação simulam actividades da vida real, tais como agarrar e manipular objectos, ou executar tarefas diárias. Estes sistemas ajudam os pacientes a melhorar a capacidade funcional aumentando assim a sua vida activa na sociedade.

Nesta fase começamos por destacar a população-alvo desta dissertação. O grande objectivo é realizar um sistema que valide o movimento que o paciente realiza na sessão de fisioterapia. Isto é, mais importante do que o paciente realizar os exercícios, é que estes sejam realizados da maneira mais adequada. Mesmo que para isto a reabilitação seja mais demorada.

Neste sistema, é importante destacar os tetraplégicos e os fisioterapeutas como população-alvo. Os fisioterapeutas, porque são estes que validam todas as fazes do processo e porque serão estes que irão utilizar o sistema, e os tetraplégicos, porque serão estes que irão beneficiar com o desenvolvimento deste sistema pois permite melhorar o seu processo de reabilitação.

3.2.1 Tetraplégicos

Nos últimos anos, muitos são as tentativas em analisar a áreas da saúde, mas a reabilitação em tetraplégicos tem ficado em esquecimento. Neste tipo de lesões, o processo de reabilitação é muito longo e árduo, e os fisioterapeutas enfrentam o grande desafio de encontrar um modo atraente e motivador para facilitar o processo.

Num sistema como este, é necessário envolver os utilizadores e os fisioterapeutas em todos os processos, para conseguir identificar os problemas e as limitações que estes enfrentam, de modo a garantir a qualidade do sistema de acordo com as necessidades dos utilizadores.

É uma tarefa extremamente difícil reunir um grupo de elementos significativo, uma vez que estes são menos activos na sociedade, com menos capacidade de comunicação e visibilidade. Foram, então, realizados questionários e sempre que possível a observação de sessões de fisioterapia. Devido às dificuldades citadas em cima, a amostra é composta por 7 pacientes, contudo estes podem nos dar a conhecer diferentes problemas, pois cada indivíduo representa um certo grupo de limitações.

Num primeiro passo, foram realizados questionários aos utilizadores (Anexo A.1), para conhecer os seus cenários diários, as suas limitações, quer no dia-a-dia, quer em relação às tecnologias. As respostas estão disponíveis no A.2

Também foram retirados destes questionários quais as áreas que cada paciente consegue controlar (Tabela 3.1).

Área que consegue controlar:	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
Olhos	+	+	+	+	+	+	+
Face	+	+	+	+	+	+	+
Pescoço	+	+	+	+	+	+	+
Ombro	+/-	+	+	+	+	+	+
Braços	+/-	+	+	+	+	+/-	+
Antebraço	-	+/-	+	+	+	+/-	+
Mãos	-	+/-	+	+	+	+/-	+/-
Dedos	-	-	-	+/-	+/-	-	+/-

Tabela 3.1: Áreas que conseguem controlar

De acordo com os questionários e com as observações das sessões foi possível concluir que um dos aspectos mais importantes seria o melhoramento da sensibilidade das mãos, pois é sem dúvida um factor que influência bastante o dia-a-dia dos pacientes, podendo-os tornar mais autónomos. Esses melhoramentos muitas vezes são deixados de parte na fisioterapia, pois existem outros aspectos que o paciente necessita de melhorar, como o conseguir se sentar sozinho, ou até o paciente necessita sempre de melhorar aspectos como equilíbrio, força dos membros, e coordenação de movimentos.

3.2.2 Fisioterapeutas

Apesar da grande parte das lesões serem para já irreversíveis, é comum uma pessoa tetraplégica recorrer à fisioterapia para recuperar algumas das funções musculares que entretanto ficaram afectadas. A fisioterapia permite-lhes despertar e reforçar padrões de resposta, atendendo ao ritmo de aparecimento e de reforço a que as mesmas acontecem.

Ao fisioterapeuta cabe o papel de observar, interpretar e dirigir a acção para optimizar a resposta do paciente. No entanto, estes processos terapêuticos são longos e implicam grande dedicação e motivação por parte do paciente. Consistem ainda na realização de padrões de movimento repetitivos, o que pode ser um factor de desmotivação.

Cada fisioterapeuta acaba por ter o seu ponto de vista em relação à melhor técnica que deve usar. De acordo com o Centro Militar da Cruz Vermelha onde foram realizados todos os estudos, a melhor técnica baseia-se na estabilização do neuro-eixo. Ou seja, é um método que se baseia em garantir que durante a realização de um exercício os utilizadores mantêm um conjunto de condições posturais. Apenas assim o exercício trará benefícios e que não seja prejudicial.

Por exemplo, não se pode reforçar um padrão de marcha se a estabilidade da bacia for inexistente ou então um membro superior não pode tolerar uma carga se houver fraqueza num trícipete. Quem comanda a periodicidade e a carga a aplicar em cada treino é o corpo do paciente.

Ao se estimular o movimento activo acima dos níveis de lesão, está-se a estimular a musculatura física e o que é pretendido é que se estimule a musculatura tónica que é essencial à estabilização.

"A Reeducação Postural tem necessariamente que incutir o todo, o indivíduo" - Fisioterapeuta do Lar Militar da Cruz Vermelha

De seguida, foi necessário junto das fisioterapeutas definir quais os pontos mais importantes para a estabilização do neuro-eixo(Figura 3.3).

Com a estabilização do neuro-eixo pretende-se que o paciente ao realizar o exercício mantenha a postura da coluna sempre o mais direito possível, ou seja, que não tenha a necessidade de compensar o movimento com posições incorrectas.

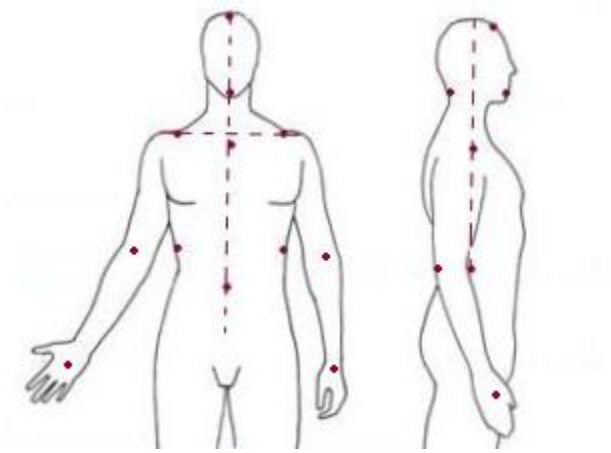


Figura 3.3: Pontos para estabilizar o neuro-eixo

Para que o estudo ainda ficasse mais completo, foram definidos junto das fisioterapeutas movimentos iniciais para que seja possível compreender e exemplificar a teoria que estas defendem.

Para a definição de um novo movimento, tem que se observar quais os pontos que são mais importantes que podem alterar o eixo mecânico, escolher as posturas base de início e de término do movimento, definir quais os ângulos que necessitam de ser registados, e ainda definir os pontos-chave para cada avaliação. Há que ter em conta também que os movimentos serão sempre sentados, mas convém que todos os movimentos sejam testados com e sem o apoio das costas, pois assim conseguem-se obter posturas diferentes.

O movimento mais simples que foi definido, baseia-se na elevação do ombro no plano horizontal até aos 90º de flexão, com rotação interna, ou seja, a palma da mão virada para o chão (Figura 3.4).

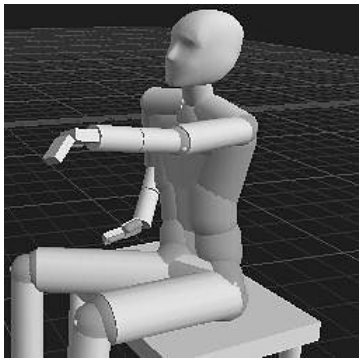


Figura 3.4: Exemplo do 1º movimento - elevação do ombro com rotação interna

Com este movimento será possível observar-se que quando existe um compromisso da estabilidade pélvica e que todo o movimento se produz num eixo de compensação na cintura escapular, o movimento irá ser

compensado com a deslocação da linha da gravidade no sentido posterior, e com a rectificação ou aumento da lordose cervical, ou seja, um reforço na musculatura do pescoço de forma a permitir a libertação do membro ao mesmo tempo que se ocupa em manter o equilíbrio no tronco.

Um segundo movimento baseia-se na repetição do primeiro mas com rotação externa, ou seja, com a palma da mão virada para cima (Figura 3.5).

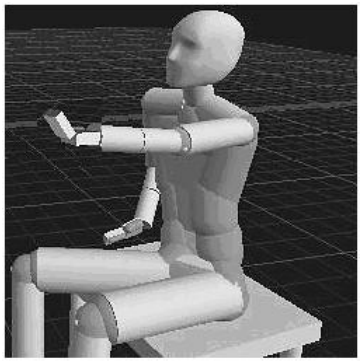


Figura 3.5: Exemplo do 2º movimento - elevação do ombro com rotação externa

Neste movimento é provável que se observe a depressão do ombro produzida pelo bloqueio "posterior acromio-clavicular" que necessita de fixar a omoplata ao tronco e isto irá produzir maior insucesso na produção do movimento. Como existe a diminuição da capacidade de estabilização compensatória pelos músculos do pescoço, iremos provavelmente assistir ao impedimento da extensão do cotovelo, ao aumento de todas as curvaturas vertebrais e à antepulsão excessiva do ombro.

Um outro movimento bastante importante é a hiper-extensão do ombro com rotação interna, ou seja, com a palma da mão virada para trás (Figura 3.6).

Figura 3.6: Exemplo do 3º movimento - hiper-extensão do ombro com rotação interna

Num movimento como este, poder-se-á observar o pânico do deslocamento anterior da linha da gravidade. Todos os pacientes com Traumatismo Vertebro-Medular desenvolvem padrões neuromotores de protecção inversos aos normais, pelo que a produção do movimento fará oscilar inversamente todos os ângulos e impedir a libertação do ombro. Toda a musculatura do tronco supralesional estará ocupada em impedir a queda do paciente.

Por fim, e de modo a perceber quais as verdadeiras necessidades que os fisioterapeutas enfrentam no seu dia de trabalho, no fim das sessões realizaram-se conversas informais, onde tomamos conhecimento que durante uma sessão, o fisioterapeuta ao avaliar o movimento, está a avaliar uma articulação e os músculos que nela actuam. Num movimento efectuado pelo paciente, designado por movimento activo, o fisioterapeuta avalia aspectos como a amplitude do movimento, ou seja, se está ou não de acordo com amplitude esperada para a articulação. A presença de dor no inicio ou no fim do movimento, ou então se existe um arco de dor, isto é, se o paciente tem dor só entre os 25º e os 45º do movimento. Além disso, também é usual medir a qualidade do movimento que incluiu a prontidão do paciente a executar os movimentos, ou seja, se realiza alguma compensação com outra parte do corpo para executar o movimento correcto. Por fim, são avaliados aspectos como o ritmo e a harmonia do movimento.

Também percebemos que não existem escalas certas para a avaliação destes aspectos todos. Estas avaliações são feitas a olho e tornando-se assim diferentes de fisioterapeuta para fisioterapeuta.

3.2.3 Local

Devido às diferentes opiniões dos fisioterapeutas, optou-se pela escolha de um único centro de fisioterapia. O principal motivo deve-se ao facto de a teoria descrita na subsecção anterior, não é defendida por muitos profissionais. Apesar de já estar a ser aceite na comunidade dos fisioterapeutas, ainda não está a ser aplicada em mais nenhum centro de fisioterapia.

A ideia de tentar realizar testes, e utilizar os pacientes de outros centros deixou de ser possível, visto que, uma vez que o sistema irá ser desenhado com base na teoria da estabilização do neuro-eixo, e os outros centros não defendam esta teoria, os dados testados ficariam bastante fora do esperado. Por exemplo, se a postura da coluna não for a esperada, irá detectar que o paciente, está a fazer o movimento com a postura incorrecta, mas para o paciente, será muito difícil adaptar-se à correcção da postura, uma vez que é um processo muito demorado, e muitas vezes faz com que o paciente sinta que regrediu na sua reabilitação.

3.2.4 Foco

Normalmente numa sessão de fisioterapia são trabalhados diversos aspectos, como o equilíbrio, a precisão, a força, a postura, mas principalmente todos os aspectos que possam tornar o paciente o mais independente no seu dia-a-dia, mas sempre com a preocupação de os movimentos serem bem realizados. Só que o grande foco desta tese é trabalhar os movimentos dos membros superiores, mas sempre com o neuro-eixo estabilizado. Pois é com o membros superiores que o paciente realiza a maior parte das tarefas do seu quotidiano, até se deslocar na sua cadeira de rodas.

Todos os movimentos requerem que a sensibilidade, a força, a precisão e a coordenação dos membros superiores tenham sido trabalhados ao máximo possível.

3.2.5 Sessões de fisioterapia

Para entendermos melhor o processo de reabilitação, foram realizadas observações às sessões de fisioterapia durante 10 dias no Centro Militar da Cruz Vermelha em Lisboa, onde foram acompanhados 3 fisioterapeutas e 7 tetraplégicos (Figura 3.7). Nestas observações foi possível destacar a necessidade de repetição dos exercícios

até que o paciente sinta confiança em realizar o movimento sozinho e de modo adequado. Além disso ao longo deste tempo, o fisioterapeuta só anota as horas de inicio e de fim da sessão, o nome do paciente, e quais os exercícios que foram propostos. Todas as avaliações que o fisioterapeuta realiza em relação ao movimento executado pelo paciente, são avaliadas a olho, e sem qualquer métrica.

Figura 3.7: Observação das sessões de fisioterapia

Pode-se destacar com estas observações que:

- A maioria dos exercícios é normalmente realizada junto do fisioterapeuta. Durante a sua execução, o fisioterapeuta tira notas e observa como é que o movimento está a ser executado.
- Alguns exercícios são realizados na própria cadeira de rodas (por exemplo, mover um braço), mas para ser executado correctamente, depende de um conjunto de restrições (por exemplo, manter o tronco firme).
- A execução repetitiva de exercícios errados, não respeitando as restrições anteriormente identificadas, pode ter um efeito perigoso ou até mesmo regressivo sobre a reabilitação do paciente.
- É difícil o fisioterapeuta ter uma visão completa do movimento quando este precisa de intervir na sua realização (Figura 3.7).
- A análise dos movimentos observados pelo fisioterapeuta é registada com um valor aproximado. Este valor pode variar de um fisioterapeuta para o outro. Além disso, considerando a duração do processo, é impossível garantir a coerência entre as avaliações prejudicando assim o registo da evolução do paciente;
- Os pacientes não têm qualquer retorno visual sobre o seu movimento ou desempenho (e.g. distância para um movimento preciso).

Por fim, definimos junto dos fisioterapeutas algumas perguntas que normalmente são os pontos que os fisioterapeutas avaliam numa sessão de fisioterapia:

- O paciente durante o movimento manteve as costas direitas?
- O paciente conseguiu realizar um determinado ângulo?
- O paciente moveu a cabeça para a realização do movimento?
- O paciente moveu a bacia para a realização do movimento?
- O movimento manteve um ritmo estável?
- O movimento foi harmonioso?

3.2.6 Conclusão

Cada teoria defendida pelos fisioterapeutas pode ter a sua vantagem e desvantagem. Neste caso considera-se que a grande vantagem desta teoria é que o movimento realizado por um tetraplégico deverá ser o mais correcto, como se fosse realizado por um utilizador normal. Apesar de ser o movimento mais correcto, pode fazer com que o processo seja mais demorado, principalmente se o paciente já realizou fisioterapia noutros centros que defendam outras teorias, pois este está habituado a realizar determinados movimentos compensados noutros.

No fim desta análise de tarefas, deparámo-nos com a necessidade de validar o movimento realizado pelo paciente, ou seja, a realização de um movimento incorrecto pode prejudicar gravemente a reabilitação do paciente. A inserção de jogos sem a validação necessária pode não ajudar na recuperação do paciente , desta forma, tornou-se prioritário neste trabalho a realização de um sistema com capacidade de validar o movimento.

Com alteração de foco do trabalho o principal utilizador do sistema deixou de ser o tetraplegico para ser o fisioterapeuta, uma vez que é este utilizador que possui capacidades para validar o movimento realizado pelo paciente.

3.3 Cenários do Problema

De seguida vamos apresentar alguns cenários que facilitam a compreensão dos problemas que ocorrem no processo de fisioterapia.

Coerência e partilha de dados

Numa manhã de quarta-feira a Vanessa, a fisioterapeuta do Pedro, ficou doente. Decidiu então, telefonar para a Patrícia para que esta siga os seus pacientes até estar em condições de voltar para o trabalho. Depois de uma semana, a Vanessa voltou ao trabalho, e pediu a Patrícia que realizasse uma descrição do que tinha realizado com o Pedro. A Patrícia disse que o Pedro saiu-se muito bem, e que estava a realizar muito bem as sessões de fisioterapia. A Vanessa achou estranho, ele estar assim tão bem, porque quando o deixou notou que este não andava a ter uma postura muito correcta nos movimentos. Depois de um dia de volta ao trabalho, a Vanessa observou que o Pedro continuava com o mesmo problema.

Reprodução do movimento

Depois de chegar o Pedro para mais uma sessão de fisioterapia a Vanessa dá por iniciada a sessão e começa por pedir que este segure uma esponja com as duas mãos e que tente colocá-la em cima da cabeça. O Pedro tenta realizar tal exercício, mas a Vanessa interrompe-o e pede que tente manter a coluna o mais direito possível, e o Pedro informa que a sua coluna estava direita e que não estava a ver o que ela se estava a referir. De seguida, tenta executar o mesmo movimento mais umas 3 vezes. Mas o Pedro terminou a sessão desanimado pois não consegue perceber onde está a falhar.

Comparar movimento

A Vanessa depois de um dia longo de trabalho, recebe a sua última paciente do dia, a Sofia. A Vanessa como com todos os seus pacientes, anota no seu caderno, o nome do paciente, o dia e a hora da sessão. De seguida, começa a sessão e é pedido à Sofia, que estenda o braço esquerdo para a frente, com a palma da mão virada para baixo. São realizadas 5 execuções do movimento, e é dada por terminada a sessão. A Vanessa, insere algumas observações sobre os movimentos executados. Após um mês, a Vanessa pretende avaliar se a Sofia mostra melhoras em relação à extensão do braço esquerdo, consultando assim as anotações apontadas no seu caderno.

3.4 Requisitos

Depois de uma análise detalhada aos sistemas já usados para a reabilitação de um paciente, deparámo-nos com a necessidade de validar o movimento realizado pelo paciente. Sendo assim, a inserção de jogos sem a validação necessária poderia se tornar prejucial para a reabilitação do paciente, desta forma, tornou-se prioritário neste trabalho a realização de um sistema com capacidade de validar o movimento.

Através dos estudos centrados no utilizador definimos requisitos para orientar o desenvolvimento da aplicação através de questionários da análise de tarefas (Anexo A), e expressam características e restrições do sistema do ponto de vista de satisfação das necessidades do utilizador, o fisioterapeuta neste caso.

O levantamento de requisitos é uma etapa importante no desenvolvimento de qualquer projecto. O correcto levantamento de todos os requisitos é crucial para o sucesso do sistema, pois cada requisito identifica uma parte do que irá ser o sistema final. Com base no estudo feito com os utilizadores irão ser identificados os principais requisitos.

3.4.1 Requisitos do Sistema

Foram definidos após a análise de tarefas, requisitos do sistema que expressam características e restrições do ponto de vista de satisfação das necessidades do utilizador, o fisioterapeuta neste caso.

R1. Persistência de dados

Todos os dados devem ser persistentes, de modo, a que não se percam dados após a aplicação ser terminada e que possam ser partilhados pelos fisioterapeutas. Este aspecto deve ser tido em conta em toda a informação, movimentos, pacientes, etc.

R2. Capturar movimento

Deve ser possível gravar o movimento, enquanto o paciente o executa, para posterior análise de dados e reprodução do movimento realizado.

R3. Precisão

A plataforma deverá permitir noção exacta e precisa de um movimento particular, por exemplo, o alcance da mão de um paciente.

R4. Reprodução do movimento

Deve ser possível, reproduzir o movimento a qualquer altura, para a análise e avaliação do movimento.

R5. Comparar movimentos

Deve ser possível reproduzir dois movimentos, de modo a que se consiga comparar as duas execuções do mesmo. Assim os fisioterapeutas podem comparar a evolução do paciente depois de algum tempo.

R6. Extracção automática da informação

Deve ser capaz de enriquecer a visão e aliviar a análise de informações, por exemplo, automaticamente apresentar a distância entre dois pontos numa comparação de um movimento particular.

R7. Configuração fácil

O terapeuta deve ser capaz de preparar e reproduzir-se um exercício com pouco esforço e sem conhecimentos técnicos específicos.

3.5 Cenários de Actividades

Os cenários de actividades normalmente são criados com o modelo conceptual, e normalmente servem para transformar as actividades correntes para descrever certas ideias.

Reprodução do movimento

A Vanessa começa o seu dia de trabalho com a Paula que é uma tetraplegia incompleta com lesão C4. A Vanessa começa por ligar a aplicação que está num computador na sala de fisioterapia, e começa assim a sessão de fisioterapia. A Paula começa com o exercício de segurar uma bola lançada pela Vanessa. A certa altura a Vanessa, pede para que esta tente levantar um pouco mais os braços para apanhar a bola. Só que a Paula, como todos os tetraplégicos têm o processo de resposta do corpo em relação ao cérebro danificado, e assim não se apercebe de que não está a levantar os braços. A Vanessa decide mostrar-lhe como é que executou o movimento, e junto do computador é reproduzido o movimento. A Paula assim já conseguiu perceber onde está a falhar e pede para tentarem de novo, e já se notou alguma diferença. A Paula pediu, para visualizar como tinha corrido, e ficou contente ao ver que tinha levantado os braços como lhe tinha sido pedido.

Comparar movimento

O Pedro, o novo fisioterapeuta do centro começa a trabalhar hoje, e como ainda não conhece os pacientes e a sua evolução a Vanessa decide lhe mostrar através da aplicação que movimentos estão a ser trabalhados com determinados pacientes, e como primeiro paciente do Zé quase chegar, foram analisar a evolução do Zé nos últimos 2 meses. O Pedro escolheu o movimento de levantar o braço esquerdo e decidiu escolher para comparar uma execução deste movimento à dois meses e o da última sessão de fisioterapia. Após visualizar estes dois movimentos em simultâneo, concluiu que o Zé evoluiu dentro dos padrões normais.

Capítulo 4

Reabilitação Assistida por Computador

Este trabalho foca-se essencialmente em fornecer ao fisioterapeuta, um sistema computacional com mecanismos precisos de monitorização e acompanhamento para melhorar a noção da evolução do paciente de uma forma mais eficiente do que a tradicional. Estes mecanismos permitirão ao fisioterapeuta guardar todos os movimentos que o paciente executou, para posterior visualização e avaliação, o que irá melhorar aspectos como a troca de fisioterapeutas de um paciente, manter a informação digitalizada e a precisão da comparação de duas execuções do movimento. Para o fisioterapeuta, este último aspecto irá ser bastante útil, pois poderá visualizar sessões que foram realizadas há duas semanas e comparar a evolução até ao momento.

4.1 Desenho da Interface

Após alguns contactos com os utilizadores, e de definidos os principais requisitos do sistema, foi necessário começar-se com o desenho da interface, e para tal, foi necessário a tomada de decisões cruciais para o bom decorrer da aplicação.

D1: Como mantenho a persistência de dados?

Esta decisão foi já definida nos requisitos como um aspecto que deverá manter-se ao longo do tempo que a aplicação encontra-se activa, e deve manter-se assim quando iniciada.

Para tal, decidimos guardar os dados que pretendemos que se mantenham persistentes num ficheiro xml. Persistimos todos os pacientes introduzidos na aplicação, todos os movimentos (Figura 4.1) e todas as execuções dos movimentos realizadas pelos pacientes. Estes dados têm a seguinte estrutura:

- Nos dados dos pacientes, guardamos o nome, a data de nascimento, a lesão, o tipo de lesão, o motivo e por fim algumas observções se necessárias.

- Na lista dos movimentos guardamos o id do movimento, o nome, o número de pontos encontrados e a descrição se necessária.

- Nos dados dos movimentos base e nas execuções dos movimentos, guardamos para cada instante gravado o ponto identificado e a sua posição.

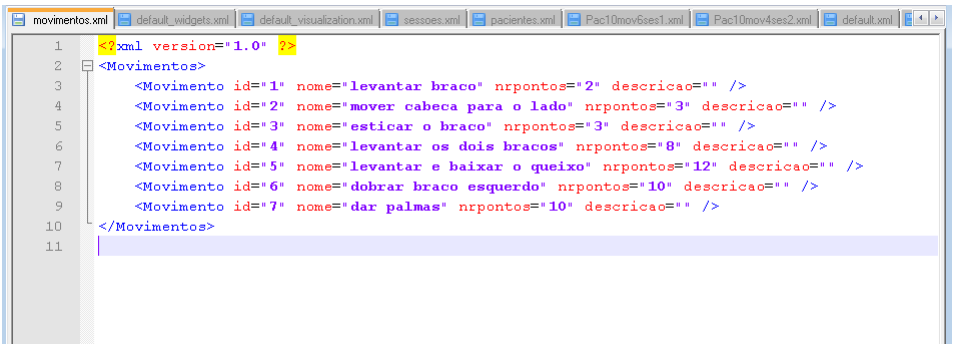


Figura 4.1: Ficheiro xml dos movimentos

Deste modo sempre que precisarmos de algum dado específico, recorremos ao ficheiro xml, e com os seu sistema de tags o seu acesso aos dados torna-se mais eficiente.

D2: Qual o sistema de Captura de Movimento a utilizar?

Esta foi uma das grandes decisões no desenvolvimento da aplicação. A dúvida começava em saber quais dos tipos de captura de movimento se adaptava melhor para a aplicação. E decidimos optar pelos sensores ópticos pois oferecem-nos uma alta taxa de amostragem, os marcadores são pequenos, e porque não existem fios a atrapalhar a execução dos movimentos. Um outro motivo para a escolha deste tipo de sistemas, foi pelo facto de o sistema do OpenIVI já estar preparado para este tipo de sistemas.

D3: Como identificar os pontos na captura dos movimentos?

Após conseguirmos obter os pontos a partir do sistema de captura de movimentos, destacou-se logo o facto de que os pontos não eram recebidos do tracking sempre pela mesma ordem. E para resolvermos problemas como este, optou-se por utilizarmos os Filtros de Kalman.

O filtro de Kalman produz estimativas dos verdadeiros valores das medições e dos seus valores associados calculados com a previsão, depois estima a incerteza do valor previsto, e calculada uma média ponderada do valor previsto e o valor medido.

Deste modo também podemos garantir que se dois pontos se cruzarem, que estes não irão ficar com identidades trocadas, por exemplo, se por acaso quando é pretendido num movimento que o paciente toque com a sua mão esquerda no seu ombro esquerdo, temos que garantir que o ponto do pulso esquerdo ao se cruzar com o ponto do ombro esquerdo, quando o braço volta à sua posição inicial, não irá acontecer o ponto do pulso ficar identificado como um ombro.

D4:Como devo mostrar o movimento a ser reproduzido?

Na reprodução dos pontos, começamos por ler os pontos do xml guardado no momento da captura. De seguida sentimos a necessidade de podermos voltar atrás um pouco na reprodução ou de avançarmos para um determinado ponto na reprodução. E decidiu-se optar por existir uma barra de reprodução (Figura 4.2) , e assim fica visível o deslocamento de um instante de tempo.

Também tivemos em conta o aspecto de podermos reproduzir em câmara lenta, ou de fazer pausa no movimento.

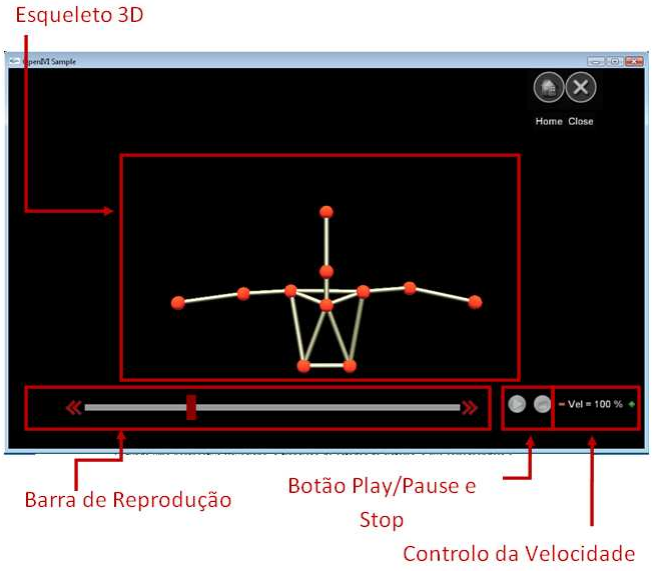


Figura 4.2: Exemplo de reprodução

D5: Como devo apresentar os dois movimentos para a comparação de movimentos?

Depois de definido como apresentar um único movimento, a questão de apresentar dois não poderia ser muito diferente, mas mesmo assim ainda colocaram-se algumas questões. A opção que nos pareceu mais simples, e o mais parecido com a execução de um movimento, foi tentar colocar os dois movimentos sobrepostos, mas reparamos que havia alturas em que não se notavam qualquer diferença, então decidimos colocar alguma transparência ao esqueleto (Figura 4.3).

Depois notamos que o utilizador poderia querer mover com a barra de reprodução de um movimento deixando o outro no tempo em que estava antes, e aí surgiu a necessidade de haver duas barras de reprodução. A barra a azul corresponde ao esqueleto com pontos a azul, e a barra a vermelho ao esqueleto com pontos a vermelho.

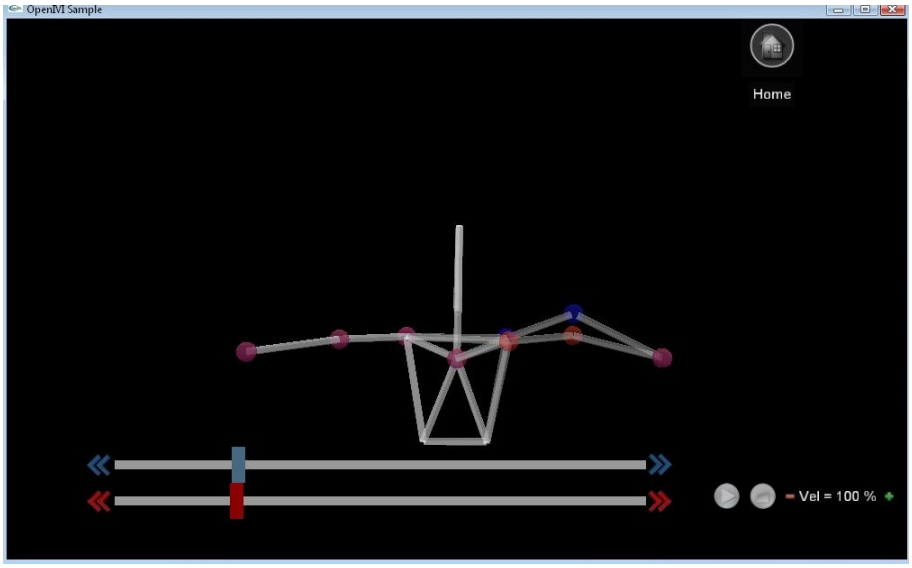


Figura 4.3: Exemplo de Comparação de movimentos

Depois de desenhados todas decisões cruciais para o bom decorrer da aplicação, iremos detalhar um pouco mais a aplicação. Mas antes, vamos destacar alguns cenários de interacção.

4.2 Cenários de Interacção

Os cenários de interacção normalmente são criados na prototipagem, e tem como objectivo descrever o que um utilizador tem que fazer, e o que ele verá passo a passo quando realiza a tarefa.

Captura do movimento

O Zé como em todas as quartas feiras tem fisioterapia às 9:30 com o Pedro. Uns minutos depois de chegar, o fisioterapeuta Pedro, começou por colocar no Zé os sensores de tracking. Após estarem todos os sensores colocados, o Pedro iniciou a aplicação e pediu ao Zé que colocasse os braços apoiados na cadeira. Começou então por escolher na aplicação a opção começar a gravar, onde de seguida lhe foi apresentado uma lista de pacientes que frequentam o centro, e escolheu o paciente Zé Martins, carregou em seguinte, e apareceu-lhe lista de todos as execuções gravados pelo Zé, mas o Pedro escolheu a opção Começar a Gravar, onde lhe foi apresentada uma lista dos movimentos que podem ser gravados, e escolheu o movimento Levantar o braço esquerdo. Colocou os sensores no Zé procedeu com a calibração. Após todos os pontos introduzidos, o Pedro deu sinal ao Zé que ia começar a gravar e carregou no botão Gravar, enquanto o Zé realizava o movimento, o esqueleto tridimensional na aplicação movia-se de acordo com o movimento do Zé. Um minuto depois o Zé já tinha terminado o movimento, e o Pedro carregou em Terminar, de seguida carregou em guardar movimento, e foi-lhe apresentado a seguinte mensagem “Movimento guardado com sucesso”.

Reprodução do movimento

A Maria está pronta para começar a fisioterapia, e com o auxílio da Vanessa consegue-se equilibrar sentada em cima da cama. No entanto a Vanessa, que já tinha começado a gravar carrega no botão Terminar, e pede à Maria que tente não se inclinar para a frente, e vai mostrar à Maria o que estava a fazer de mal. Carrega no botão visualizar que se encontra junto do botão Gravar e Terminar. De seguida é mostrado uma barra, uma opção para reduzir a velocidade de reprodução e um botão de play e de stop. A Vanessa reduz a velocidade a 50% e carrega em Play, e na altura em que a Maria está a começar a inclinar-se, ela carrega no Stop. A Maria conseguiu perceber o que estava a fazer mal, e assim voltou para o menu da gravação e começou uma gravação nova.

Comparar movimento

Depois de um dia longo de trabalho, o Pedro pretende realizar um balanço de como têm corrido as sessões, e quais as alterações devem ser aplicadas. Começou por analisar os seus pacientes, e verificar como estão a evoluir, começou com o André. Iniciou a aplicação, e escolheu a opção "listar de sessões", carregou em seguinte, e apareceram a lista dos pacientes, seleccionou o André Lopes e carregou em seguinte, de seguida apareceu uma listagem de todos os movimentos gravados e o Pedro seleccionou o movimento de Levantar o braço esquerdo, e carregou na opção Comparar Movimentos. Ao aparecer a listagem de todas as gravações do André com este movimento, o Pedro seleccionou os que tinham sido executados no dia 12/12/2009 e no 12/04/2010, e carregou no Comparar. Foi apresentado duas barras, uma para cada execução, um esqueleto tridimensional, e um botão de play e stop. Ao carregar no play, notou que o André mostrou melhorias na extensão do braço, já consegue estender o braço a um ângulo de quase 90º com o tronco.

4.3 Arquitectura

De acordo com requisitos descritos na secção 5.1, destacamos que necessitávamos de certas funcionalidades na aplicação. Antes de começarmos a desenvolver estas funcionalidades, começamos por desenhar uma arquitectura que conseguisse representar a nossa aplicação.

Como é possível observarmos na figura 4.4 conseguimos observar um módulo Aplicação, um módulo OpenIVI e um módulo Interface. De seguida vamos descrever estes módulos e os seus submódulos.

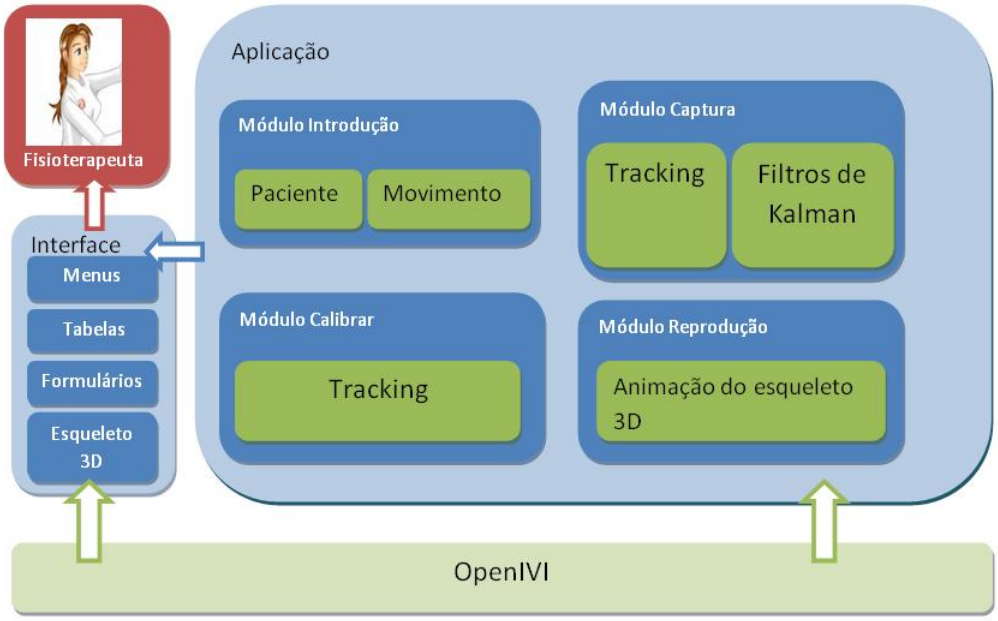


Figura 4.4: Arquitectura do Sistema

4.3.1 Aplicação

Neste grande módulo, descrevemos todas as funcionalidades do sistema. Iremos descrever o módulo de introdução, o módulo de captura, o módulo de calibração e por fim o módulo de reprodução

4.3.2 Módulo Introdução

Este módulo diz respeito à possibilidade de o fisioterapeuta introduzir os dados dos pacientes e a definição de movimentos base de modo a que fiquem guardados na aplicação persistentemente.

Um conceito importante é a de "movimento base", este deverá ser uma execução do movimento pretendido, mas deverá ser o movimento ideal, ou quase ideal visto não ser possível um individuo executar o movimento perfeito. Um outro tipo de movimento é a "execução do movimento", que é quando o paciente executa um movimento base, e que será usado para as avaliações e comparações.

Paciente

O conceito de paciente, é muito importante ao longo de toda a aplicação, visto que toda a aplicação gira toda em torno da fisioterapia para os pacientes. Começamos por criar um formulário para a introdução dos dados do paciente (Figura 4.5) , com os campos nome, data de nascimento, a lesão, o tipo de lesão, o motivo, e algumas informações importantes para observação.

Figura 4.5: Introdução de novo paciente

Ao guardarmos os dados introduzidos, os mesmos passam a estar guardados num ficheiro XML, para manter a persistência dos dados em diferentes sessões.

Movimento

Outro conceito mas não menos importante é o de movimento, onde podemos ter o movimento base que será o movimento gravado pelo fisioterapeuta, que deverá realizado o mais correcto possível, de acordo com os aspectos que o movimento será avaliado. O outro tipo de movimento, será a execução do movimento, que será realizado pelo paciente. Em suma, o fisioterapeuta grava o movimento que pretende ter na base de dados, movimento base, e o paciente executa os movimentos que estão na base de dados, para depois poder haver um movimento considerado correcto para comparação e avaliação.

Para a criação do movimento base, é necessário passarmos por várias fases. A primeira fase é a de introdução do nome do movimento e algumas observações a ter em conta para a realização do movimento (Figura 4.6).

Figura 4.6: Introdução de movimento base - introdução dos dados

De seguida, é necessário recorrermos a uma fase de calibração de pontos para que o módulo de captura seja o mais preciso possível. Se não foi realizada nenhuma calibração desde o inicio da aplicação, esta irá exigir que faça. Numa primeira fase de calibração, será pedido ao fisioterapeuta que está a gravar o movimento, que se posicione numa posição para a captura dos pontos (Figura 4.8). Este passo, é só para garantir que a pessoa que está a realizar o movimento, não precisa de se manter sempre na mesma posição até ao fim da calibração.

Para a realização da calibração, será necessário a colocação dos sensores ópticos no corpo da pessoa que irá realizar os movimentos, para a detecção dos mesmos pontos na aplicação, este passo será explicado na secção 4.3.3.

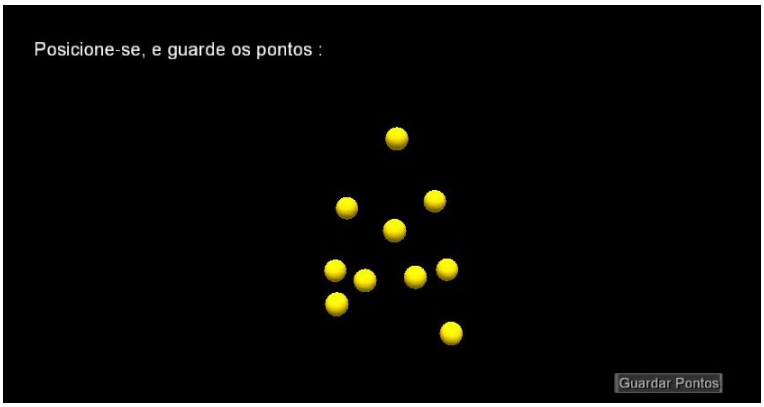


Figura 4.7: Novo movimento base - calibração

Depois de guardados os pontos, será necessário fazer o passo principal da calibração, a correspondência de pontos. Neste passo é necessário realizar uma correspondência entre os pontos do esqueleto e os pontos do menu (Figura 4.8) . O utilizador deverá fazer a correspondência de todos os pontos do esqueleto. A correspondência deve ser feita na ordem esqueleto-menu e é atribuída uma cor ao ponto no esqueleto, que quando correspondido no menu aplica a mesma cor ao ponto no menu. Permitimos também que o utilizador apague todas as selecções para o caso de engano.

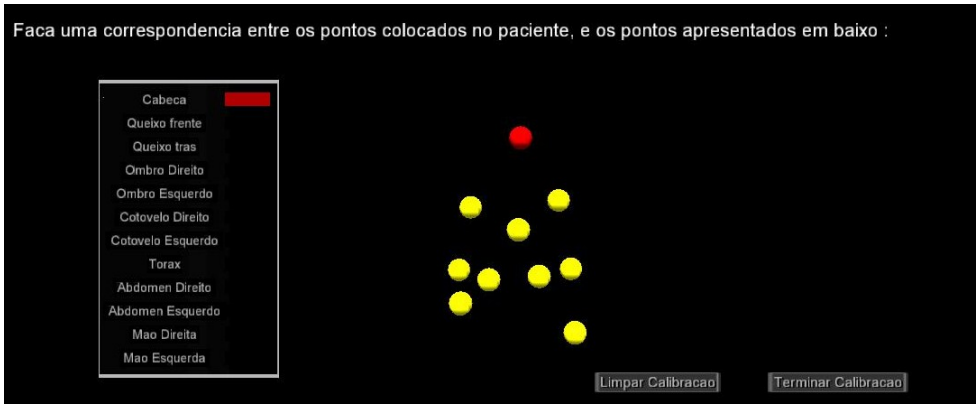


Figura 4.8: Novo movimento base - calibração - correspondência

Depois de terminada a calibração, será apresentado um esqueleto para o fisioterapeuta escolher dos pontos calibrados quais os mais importantes para o movimento pretendido (Figura 4.9) . Para a selecção dos pontos, o utilizador pode carregar no próprio ponto no esqueleto, ou então seleccionar no menu. Poderá também marcar todos os pontos, ou até mesmo desmarcar. Quando seleccionados os pontos, estes deverão aparecer a vermelho, e a branco ao desseleccionarmos. Neste passo o utilizador, ao não assumir um ponto para a gravação do movimento, não poderá posteriormente analisar ou comparar.

Figura 4.9: Novo movimento base - selecção dos pontos

Para finalizar a introdução de um movimento base, será apresentado ao utilizador uma opção de começar a gravar o movimento, à qual o paciente deverá ter os sensores colocados e a postos para a gravação. Durante a gravação o esqueleto move-se ao mesmo tempo que o utilizador com os sensores, como podemos observar na figura 4.10. No caso da figura só foram seleccionados os pontos nos braços do utilizador. Quando terminado o movimento, o fisioterapeuta pode visualizar o movimento, e se não for realizado como pretende, pode voltar a gravar, caso contrário deverá guardar para que fique na base de dados.

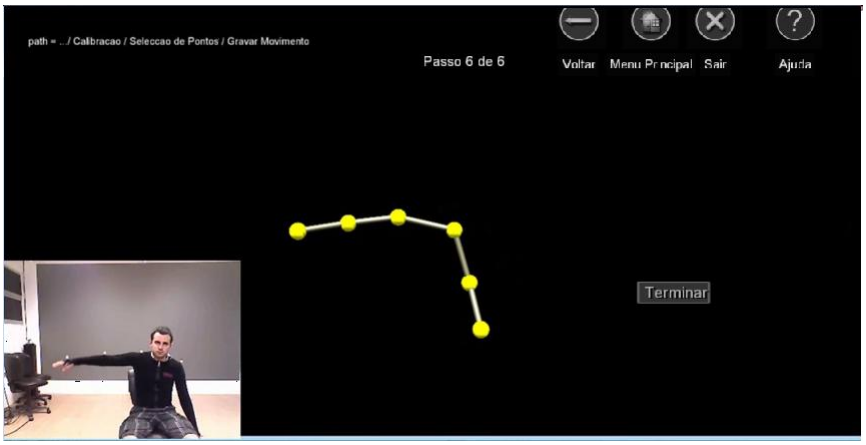


Figura 4.10: Novo movimento base- gravação do movimento

Para a criação de uma execução de um movimento, o movimento base já tem de existir. Começamos então por seleccionar o paciente que irá gravar o movimento e de seguida escolher a opção gravar movimento, e teremos de seleccionar numa tabela qual é o movimento que irá gravar.

Em suma, para a criação de um movimento começamos por definirmos um nome, de seguida efectuamos uma calibração, seleccionarmos os pontos que queremos analisar no movimento e por fim efectuarmos a gravação do movimento.

É importante relembrar que os pacientes só poderão executar movimentos que estejam na lista dos movimentos base. O processo de gravação da execução do movimento, assemelha-se à gravação do movimento base, com a excepção de não ser necessário seleccionar os pontos importantes para a realização do movimento.

4.3.3 Módulo Captura

Neste módulo vamos apresentar o modo como capturamos e analisamos o movimento. As principais características e funcionalidades deste sistema são descritos, bem como algoritmos e métodos utilizados na sua construção.

Tracking

Neste módulo pretendemos que sejam capturados os movimentos, e para tal utilizamos o sistema de tracking que o OpenIVI nos fornece.

O sistema OpenIVI é baseado no uso de 10 câmaras de vídeo e um programa de computador capaz de analisar as imagens geradas por estas câmaras. Os tipos de movimentos que podem ser analisados pelo sistema são muitos, não existindo restrições quanto à forma ou característica. Os factores que limitam a análise do movimento serão impostos pelas câmaras utilizadas, iluminação, quantidade de marcadores e a proximidade ente eles.

A tecnologia escolhida para registar e reconstruir o movimento será baseada em dispositivos óptico-electrónicos (câmara de vídeo) e marcadores retro-flexíveis à luz infravermelha (marcadores passivos).

A escolha deste conjunto, justifica-se pelo facto de que estes permitem a máxima movimentação natural e apresenta grande potencial prático. Além disso, esta solução já tem vindo a ser utilizada pelos criadores do OpenIVI.

Para a aquisição dos dados sobre o movimento, teremos que manter os marcadores (Figura 4.11(a)) , que serão fixados nos pontos estratégicos do corpo do utilizador. Como a eficiência da reflexão de luz dos marcadores é incrementada para a luz infravermelha, é necessário que se tenha uma fonte de luz desta natureza no ambiente. Geralmente, é feito por um conjunto de LEDs infravermelhos (Figura 4.11(b)) de alta potência e grande ângulo de abertura, que possibilitam uma iluminação mais eficiente do ambiente e consequentemente maior contraste do marcador na imagem.

Depois com o programa de computador que analisa as imagens, os dados analisados são enviados para o módulo OpenIVI, que por fim devolve à nossa aplicação as coordenadas(x,y,z) de todos os marcadores.

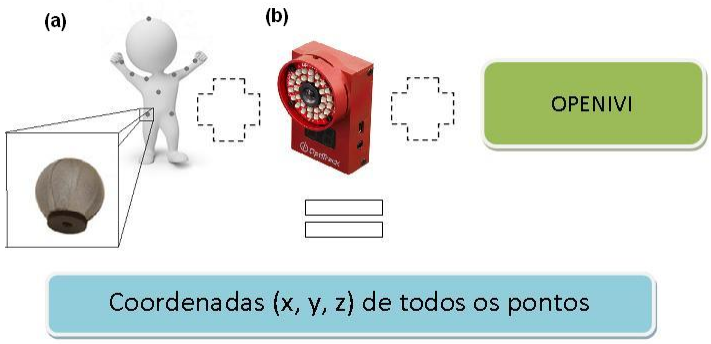


Figura 4.11: Arquitectura do tracking (a) utilizador com marcadores esféricos coberto por fita retro-flexível à luz infravermelha (b) câmara com LEDs

Filtros de Kalman

Observamos que só o tracking não chegava para analisar o movimento, pois as coordenadas devolvidas, nunca vinham pela mesma ordem, o que pode causar derivados erros ao ocorrerem colisões ou oclusões de pontos. Por exemplo, se colocarmos pontos colocados nos pulsos do paciente e ao cruzarmos os braços pode acontecer que os pontos dos pulsos se troquem.

Para que os pontos recebidos pelo tracking estejam sempre a representar o mesmo ponto no esqueleto, utilizamos os filtros de Kalman.

Para se proceder com o seguimento do movimento, considera-se o sistema como sendo constituído por pontos. Relativamente às variáveis de estado, estas podem ser definidas de diversas formas; no entanto, a generalidade dos métodos recorre à posição, podendo também ser incluídas a velocidade e a aceleração.

Sob uma perspectiva Bayesiana discreta, o seguimento consiste no cálculo recursivo de grau de certeza associado a cada estado em determinado instante, tendo em consideração os dados obtidos até esse momento. Para tal, é assumido que as técnicas de modelação produziram um sistema descritivo, sob a forma de uma equação diferencial estocástica para descrever a propagação de estados (modelo do sistema), e que são disponibilizadas medições discretas corrompidas por ruído (modelo de medições). Assim, tem-se por objectivo combinar as medições obtidas no sistema actual com a informação providenciada pelo modelo do sistema, e a descrição estatística das incertezas no sentido de obter estimativas óptimas [15, 5, 23].

Em geral, a optimização da estimativa obtida depende do critério utilizado. Neste caso, como se utiliza uma abordagem Bayesiana, procuram-se meios de propagação da função densidade de probabilidade condicional, restringida pelo processo de medição.

Os filtros deste tipo são compostos por duas fases: uma de predição e outra de correcção.

A predição utiliza o sistema do modelo para prever a função de densidade de probabilidade do estado no instante seguinte. Dado que o estado é, de um modo geral, sujeito a algumas perturbações (usualmente modeladas como ruído aleatório), a predição considera a translação, a deformação e difusão da função densidade de probabilidade. Por outro lado, a fase de correcção utiliza a medição mais actual de forma a modificar a função densidade de probabilidade prevista.

Tal é conseguido pela utilização do teorema de Bayes. Um outro aspecto muito importantes, que consiste no mecanismo de actualização da informação acerca do estado objectivo quando são fornecidas informações extra a partir de novos dados [15].

O filtro de Kalman assume que a função densidade de probabilidade em cada instante de tempo segue uma distribuição Gaussiana. Este filtro permite a estimativa do estado de um sistema de forma a minimizar o quadrado da média do erro [25], tratando-se duma solução óptima para o seguimento, caso sejam satisfeitas algumas restrições: se o ruído tiver uma distribuição Gaussiana de parâmetros conhecidos e se a transição de estados representada pelo modelo do sistema for linear [25, 13].

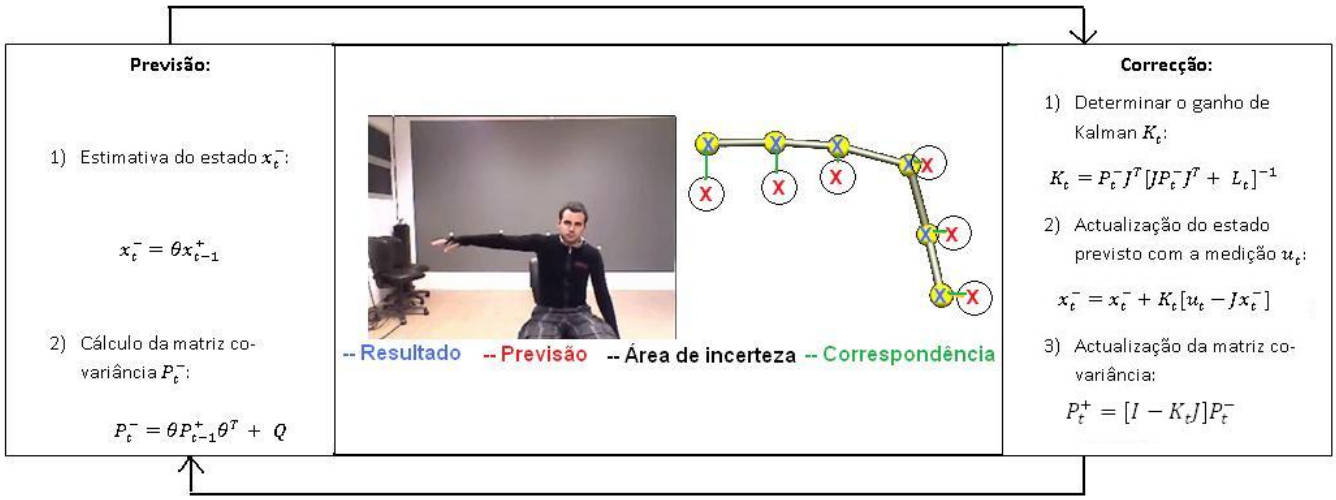

Previsão:
1) Estimativa do estado x_t^-:
$x_t^- = \theta x_{t-1}^+$
2) Cálculo da matriz co-variância P_t^-:
$P_t^- = \theta P_{t-1}^+ \theta^T + Q$
-- Resultado -- Previsão -- Área de incerteza -- Correspondência
Correcção:
1) Determinar o ganho de Kalman K_t:
$K_t = P_t^- J^T [J P_t^- J^T + L_t]^{-1}$
2) Actualização do estado previsto com a medição u_t:
$x_t^- = x_t^- + K_t[u_t - J x_t^-]$
3) Actualização da matriz co-variância:
$P_t^+ = [I - K_t J] P_t^-$

Figura 4.12: Iteração do filtro de Kalman.

Na Figura 4.12 podemos observar a iteração do filtro de Kalman para o instante de tempo t: os índices + e − são relativos à incorporação ou não das medições nesta iteração do filtro; θ relaciona o estado entre dois instantes de tempo consecutivos; Q modela o ruído do processo; J é a matriz que transforma o sistema de coordenadas do vector de características estimadas no vector de características medido; L é a matriz de variância das medições.

Para fazer a introdução de novas medições na fase de correcção do filtro de Kalman, é necessário estabelecer correspondências entre as posições estimadas e as correspondentes novas posições das entidades a seguir. Assim, para cada entidade seguida tem de ser escolhido um dos candidatos ao emparelhamento: o que melhor se aproxima do conjunto de estimativas obtido.

No processo de optimização de correspondências é necessário pesar a possibilidade de cada entidade ser atribuída uma das medições recolhidas, e serão estes custos que irão compor a função que se pretende minimizar. Neste trabalho, consideramos o peso, ou o custo do emparelhamento, entre um par de coordenadas previsão/medição como sendo dada pela respectiva distância de Mahalanobis [18].

A distância de Mahalanobis entre dois pontos consiste numa métrica que contempla a diferença entre as características consideradas. Neste caso, a distância de Mahalanobis entre um ponto estimado x_E, e um ponto medido x_M , é definida como a distância euclidiana entre as coordenadas dos pontos normalizada pelas suas variâncias, onde P é a matriz da co-variância:

$$d_M = \sqrt{(x_M - x_E)^T P^{-1} (x_M - x_E)}$$

Depois de alguns testes, observamos que a distância de Mahalanobis não é suficiente para o processo de correspondência e que seria necessário realizarmos algumas restrições geométricas, como:

- A diferença entre o comprimento do ponto candidato e o comprimento do ponto estimado deve ser $\leq$ a um valor admissível.

- A diferença entre a direcção do ponto candidato e a direcção do ponto estimado deve ser $\leq$ a um valor admissível.
- A diferença entre a posição do ponto médio do ponto candidato e a posição do ponto médio do ponto estimado deve ser $\leq$ a um valor admissível.

Com estas correspondências conseguimos resolver o nosso problema de identificarmos os pontos recebidos. Deste modo, todos os pontos passam a ser identificados, o que torna possível mantermos a representação do esqueleto.

4.3.4 Módulo Calibrar

Este módulo surgiu devido à possibilidade de processo de captura, o paciente não se encontrar precisamente no centro da sala, ou então para pacientes com uma estrutura óssea diferente da que foi definida por defeito.

Não vamos explicar como funciona o tracking, pois já foi referido no submódulo tracking do módulo captura secção 4.3.3.

Há que ter em conta que sempre que exista alguma alteração no ambiente da aplicação, como mudança de paciente, alteração do lugar onde estão a realizar o movimento, deve-se proceder com a calibração. Assim conseguimos garantir que a identificação dos pontos colocados no paciente vai ser provavelmente mais correcto e mais rápido.

4.3.5 Módulo Reprodução

É neste módulo que nos preocupamos com a reprodução dos movimentos executados. Esta reprodução pode ser uma simples visualização do que foi capturado, ou então podemos visualizar duas execuções do mesmo movimento, para posterior comparação ou análise detalhada dos pontos.

Animação do esqueleto 3D

A animação do esqueleto é realizada com base nos movimentos guardados na base de dados, como referido anteriormente.

Depois de feita a identificação através dos filtros de kalman, os pontos são guardados num ficheiro xml com esta mesma identificação e com a posição recebida no tracking (Figura 4.13).

```
</Time>
<Time t="9.468">
    <Point nr="pontoCotoveloDirS" x="-0.297713" y="0.584952" z="0.494826" />
    <Point nr="pontoCotoveloEsqS" x="0.239039" y="0.588603" z="0.504288" />
    <Point nr="pontoExternoS" x="-0.0125665" y="0.804043" z="0.656001" />
    <Point nr="pontoMaoDirS" x="-0.309359" y="0.472495" z="0.663182" />
    <Point nr="pontoMaoEsqS" x="0.254727" y="0.316737" z="0.622818" />
    <Point nr="pontoOmbroDirS" x="-0.227868" y="0.879173" z="0.492487" />
    <Point nr="pontoOmbroEsqS" x="0.169843" y="0.912194" z="0.521372" />
    <Point nr="pontoTroncoDirS" x="-0.130246" y="0.577915" z="0.637865" />
    <Point nr="pontoTroncoEsqS" x="0.0982014" y="0.598369" z="0.653355" />
    <Point nr="pontoheadS" x="-0.00478861" y="1.16605" z="0.642975" />
</Time>
<Time t="9.712">
    <Point nr="pontoCotoveloDirS" x="-0.298579" y="0.585539" z="0.493884" />
    <Point nr="pontoCotoveloEsqS" x="0.238904" y="0.588505" z="0.504" />
    <Point nr="pontoExternoS" x="-0.012564" y="0.80399" z="0.655894" />
    <Point nr="pontoMaoDirS" x="-0.312483" y="0.472193" z="0.661259" />
    <Point nr="pontoMaoEsqS" x="0.254727" y="0.316737" z="0.622818" />
    <Point nr="pontoOmbroDirS" x="-0.227732" y="0.879067" z="0.492435" />
    <Point nr="pontoOmbroEsqS" x="0.169959" y="0.912211" z="0.521337" />
    <Point nr="pontoTroncoDirS" x="-0.130026" y="0.578017" z="0.637695" />
    <Point nr="pontoTroncoEsqS" x="0.0981262" y="0.598498" z="0.653456" />
    <Point nr="pontoheadS" x="-0.00464008" y="1.16606" z="0.642676" />
</Time>
<Time t="9.961">
    <Point nr="pontoCotoveloDirS" x="-0.301164" y="0.58606" z="0.492667" />
    <Point nr="pontoCotoveloEsqS" x="0.239128" y="0.588847" z="0.50381" />
    <Point nr="pontoExternoS" x="-0.0123813" y="0.804124" z="0.655818" />
    <Point nr="pontoMaoDirS" x="-0.3208" y="0.472051" z="0.657851" />
    <Point nr="pontoMaoEsqS" x="0.255045" y="0.316615" z="0.622672" />
    <Point nr="pontoOmbroDirS" x="-0.227499" y="0.879303" z="0.492327" />
    <Point nr="pontoOmbroEsqS" x="0.170107" y="0.911761" z="0.520734" />
    <Point nr="pontoTroncoDirS" x="-0.130109" y="0.577944" z="0.637671" />
    <Point nr="pontoTroncoEsqS" x="0.0981567" y="0.598429" z="0.65338" />
    <Point nr="pontoheadS" x="-0.00433385" y="1.16627" z="0.642715" />
</Time>
```

Figura 4.13: Exemplo de um movimento guardado

Deste modo, quando necessitamos de reproduzir o movimento, representamos cada ponto com uma bola a vermelho e realizarmos uma translação para a posição correspondente. Depois desta translação, procedemos com a realização das arestas que ligam os pontos do esqueleto que têm ligação (Figura 4.14).

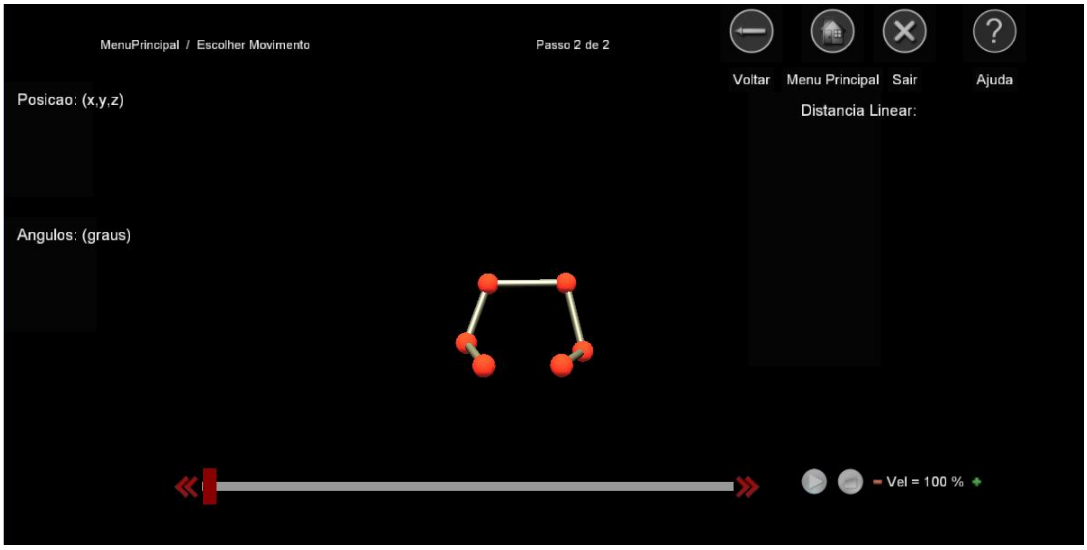


Figura 4.14: Reprodução do movimento

Decidimos colocar uma barra de reprodução do movimento, de modo a que o utilizador possa ter noção dos instantes do movimento. Esta barra tem um tamanho que pode ser ajustado, e ao longo do tempo move-se

Δt:

$$\Delta t = tamanhodabarra \ / \ numero\ de\ times$$

Também temos a opção de reproduzir o movimento todo de seguida, ou por instantes, onde o utilizador deverá carregar nos botões representados por $\ll$ e $\gg$. Outros aspectos a referir é a velocidade de reprodução, que pode ser aumentada ou diminuída conforme desejado.

Um dos aspectos que foram retidos como essencial para a aplicação é a possibilidade de visualizarmos as informações dos pontos na aplicação. Para tal, optamos por apresentar esta informação no mesmo ecrã que está a ser reproduzida. Ao clicarmos num ponto, representado por uma bola a vermelho, o ponto irá aparecer identificado e consequentemente irão aparecer as informações relativos aos pontos, como a sua posição, a sua distancia linear e os ângulo (Figura 4.15) .

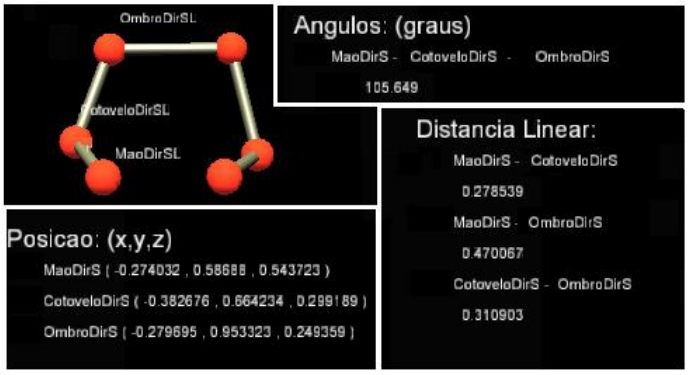
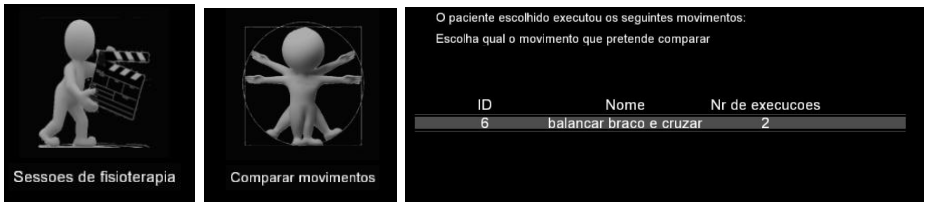


Figura 4.15: Informações relativas a um ponto seleccionado

Um outro aspecto muito importante é a necessidade de comparação de movimentos. Se um fisioterapeuta necessita de comparar duas execuções do movimento, realizado em datas distantes por já não se recordar, poderá utilizar a funcionalidade de comparar movimentos, seleccionando as duas datas pretendidas.

Para tal, deve-se começar por escolher a opção de "Sessões de Fisioterapia" (Figura 4.16 (a)) no menu inicial e de seguida escolher o paciente que está a realizar a sessão de fisioterapia. Posteriormente deverá escolher a opção "Comparar movimentos" (Figura 4.16 (b)) no menu das sessões e irá aparecer a lista dos movimentos que o paciente já executou e quantas vezes já executou, na Figura 4.16 (c), conseguimos observar que o paciente seleccionado executou duas vezes o movimento "Balançar o braço e cruzar".



(a) Icon Sessões de fisioterapia (b) Icon Comparar Movimentos (c) Lista de movimentos Executados

Figura 4.16: Sessões de fisioterapia

Depois de seleccionarmos o movimento que vamos comparar, irá aparecer um menu onde podemos escolher se queremos comparar com o "movimento base" ou com outra "execução do movimento" (Figura 4.17) .

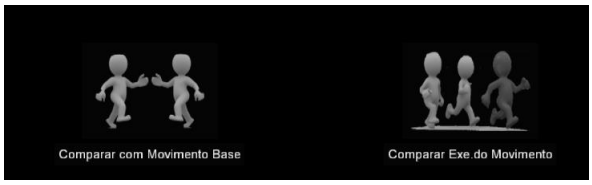


Figura 4.17: Escolher modo de comparação

Ao escolher a opção de "Comparar com Movimento Base" o utilizador de seguida irá escolher uma execução do movimento para comparar com o seu movimento base, mas se escolher a opção "Comparar Execuções do Movimento" o utilizador poderá escolher dois itens da lista das execuções dos movimentos (Figura 4.18)e por fim irá poder visualizar os dois movimentos para poder comparar.

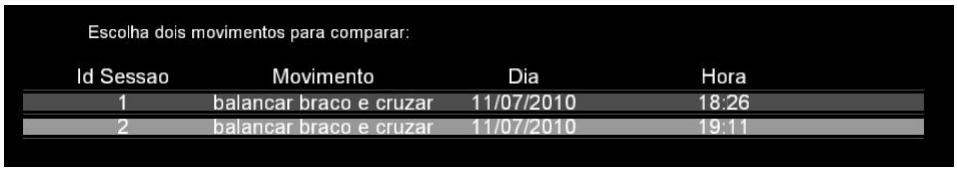


Figura 4.18: Escolher duas execuções do movimento para comparar

Como podemos observar a comparação de duas execuções de um movimento assemelha-se à reprodução de um movimento (Figura 4.19). Optamos por representar os diferentes movimentos com bolas de cores diferentes, e com barras de reprodução diferentes. Ao começarmos a reproduzir o movimento, os dois movimentos movem-se separadamente, ou seja, a reprodução é realizada sem que um movimento se preocupe com o estado do outro movimento.

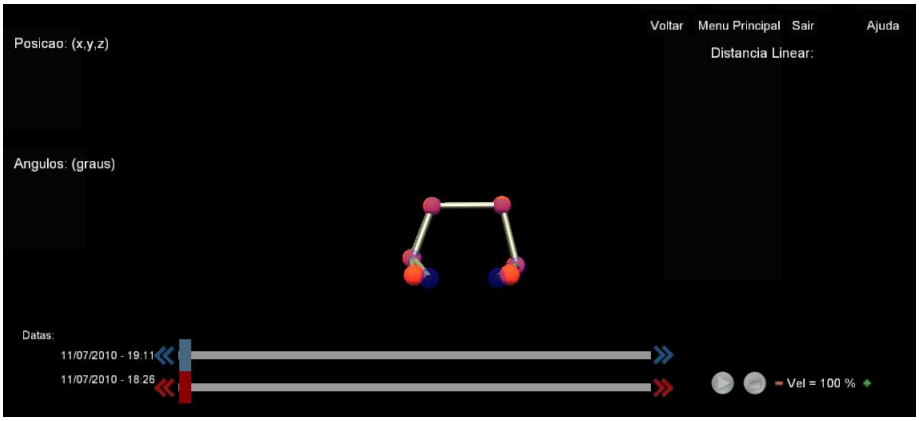


Figura 4.19: Comparar dois movimentos

4.3.6 Interface

Na interface utilizador optamos que esta fosse representada através de menus para a selecção de diversas opções, de tabelas quando pretendemos representar um lista de pacientes e de movimentos, de formulários para a introdução de dados através do teclado e por um esqueleto 3D para a reprodução de um determinado movimento.

Menus

Os menus são utilizados quando pretendemos que o utilizador escolha um item para a realização de uma determinada tarefa. Cada item do menu representa o que o utilizador irá poder realizar. Por exemplo "Novo Movimento Base", se o utilizador optar por esta opção, irá conseguir introduzir um novo movimento ao sistema (Figura 4.20)

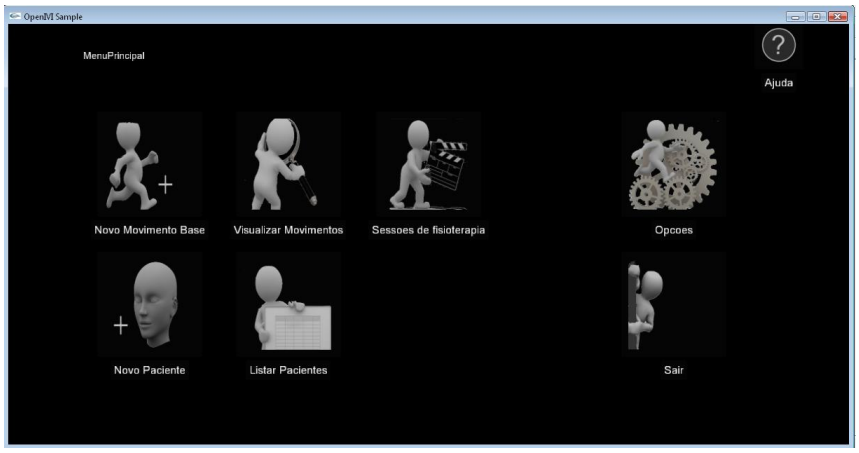


Figura 4.20: Exemplo de Menus

Tabelas

As tabelas foram a maneira mais correcta de apresentar uma lista de itens e onde precisamos que o utilizador escolha um dos itens para prosseguir com a tarefa. Quando seleccionado o item escolhido, este aparece de cor diferente (Figura 4.21).

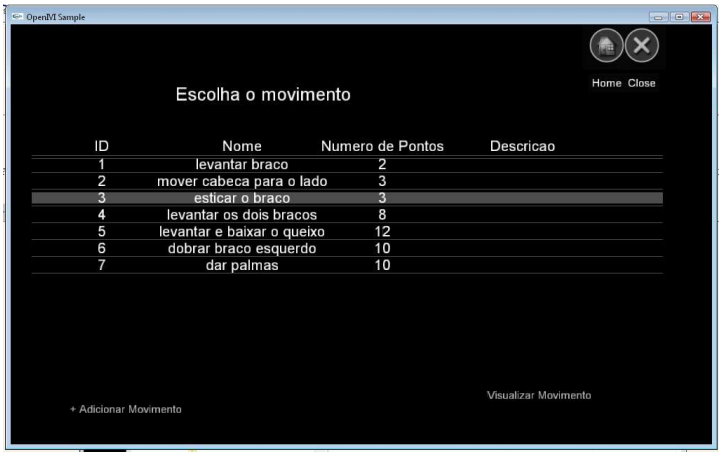

OpenVI Sample
Home Close
Escolha o movimento
ID Nome Numero de Pontos Descricao
1 levantar braco 2
2 mover cabeca para o lado 3
3 esticar o braco 3
4 levantar os dois bracos 8
5 levantar e baixar o queixo 12
6 dobrar braco esquerdo 10
7 dar palmas 10
Visualizar Movimento
+ Adicionar Movimento

Figura 4.21: Exemplo de Tabelas

Formulários

Quando pretendemos que o utilizador introduza dados através do teclado, como por exemplo a introdução de um novo paciente, escolhemos representar com formulários (Figura 4.22). O campo que estamos a editar é mostrado com o fundo da cor cinzenta.

Figura 4.22: Exemplo de Formulários

Esqueleto 3d

Para a reprodução e captura dos movimentos, representamos a ligação dos pontos capturados com arestas que definem o esqueleto (Figura 4.23). Ao longo do movimento, os pontos movem-se e em conjunto com estes, movem-se também as linhas que definem o esqueleto.

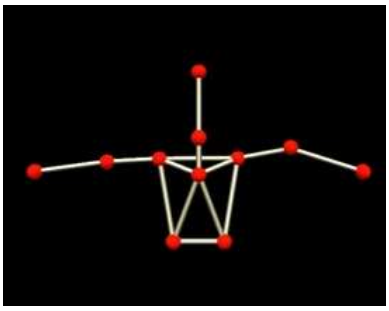


Figura 4.23: Representação 3D do esqueleto

4.3.7 OpenIVI

A framework OpenIVI (Figura 4.24) é uma iniciativa Open Source lançada pelo INESC-ID para apoiar a prototipagem rápida de novas aplicações, com técnicas avançadas de visualização 3D combinadas com técnicas inovadoras de interacção. O OpenIVI depende do OpenSG OpenTracker e de tecnologias para fornecer uma solução integrada para cenas 3D e suporte para dispositivos de tracking [6].

A biblioteca OpenIVI fornece o suporte para desenvolver facilmente novas aplicações através da estruturação da integração da visualização, devido à interacção com os conceitos de um ciclo de eventos flexível para

oferecer suporte a dispositivos de entrada alternativos. OpenIVI é acessível através de um conjunto de módulos geridos pelo kernel do OpenIVI. De seguida apresentamos os componentes da framework OpenIVI:

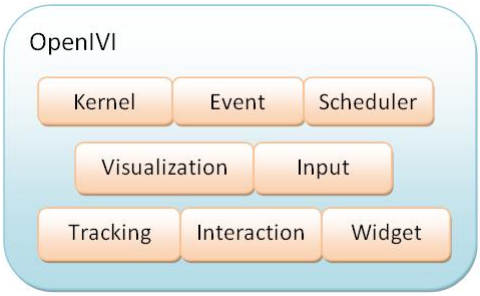


Figura 4.24: Arquitectura do OpenIVI

• Event: Fornece um ciclo de eventos flexíveis, baseado em publicar e assinar a política de eventos personalizados.

• Visualization: Visualização em 3D baseado no OpenSG

• Input: Suporta a entrada de dispositivos tradicionais, como rato e teclado.

• Tracking: oferece suporte para dispositivos 3D tais como sistemas de monitorização e espaço mouse ou dispositivos alternativos, como o Wiimote da Nintendo.

• Scheduler: Realiza a sincronização com outros módulos.

• Widget: Permite a criação de interface do utilizador personalizável e graficamente extensível com base no OpenSG tais como botões ou menus.

• Interaction: Permite definir sub-módulos de aplicação de um determinado comportamento interactivo, como um navegador ou um manipulador WiiMote.

• Kernel : Responsável por gerir módulos carregados

4.4 Estudos preliminares

No inicio deste capitulo descrevemos alguns aspectos relativos ao protótipo desenvolvido que concretiza a arquitectura apresentada anteriormente. Agora iremos descrever a avaliação preliminar realizada ao nosso trabalho e os resultados obtidos. Começamos por enquadrar os objectivos desta avaliação, que utilizadores serão utilizados na mesma, quais as tarefas que deverão executar, e por fim iremos analisar os resultados desta.

4.4.1 Avaliação Preliminar

A avaliação que descrevemos nesta secção, tem como objectivo verificar até que ponto a interface desenvolvida se adequa aos conhecimentos informáticos dos fisioterapeutas. Deste modo iremos reunir um conjunto de fisioterapeutas onde irão executar um conjunto das principais tarefas que mostram as funcionalidades da aplicação.

Descrição e execução da avaliação preliminar

Cada avaliação consistiu num teste individual, em que o utilizador teve acesso a um computador com a nossa aplicação, fazendo-se acompanhar por um observador responsável pela condução deste teste. Reunimos um conjunto de 3 estudantes finalistas de Fisioterapia, que representam o perfil do utilizador alvo da aplicação. Estes utilizadores, utilizam o computador diariamente, e possuem os conhecimentos mínimos de informática.

A avaliação consistiu em 3 fases, com duração de 30/40 minutos. Em primeiro lugar, foi explicado ao utilizador o objectivo deste trabalho, e qual o objectivo desta avaliação, ao qual foi mostrado um video de uma demonstração da utilização da aplicação. Numa segunda fase, deixamos o utilizador adaptar-se à aplicação, para que sentissem um maior conforto na execução das tarefas. E por fim, na ultima fase, foram dados uma lista de tarefas para executarem, às quais recorreu-se a um programa de gravação dos ecrãs do computador, para posterior análise.

Tarefas

A avaliação preliminar realizada foi focada na realização de um conjunto de tarefas para os utilizadores, para que fosse possível o recurso máximo de mecanismos da nossa aplicação.

Tarefa 1: Introduzir novo paciente Introduzir um novo paciente com os seguintes dados:

Nome: Pedro Pacheco

Data de Nascimento: 20/02/1985

Lesão: C3

Completo/Incompleto: Incompleto

Motivo: Acidente de Automóvel

Observações: (vazio)

Tarefa 2: Introduzir um novo movimento Introduzir um novo movimento com os seguintes dados:

Nome: Levantar os braços

Descrição: O paciente necessita de levantar os dois braços

Tarefa 3: Visualizar Movimento Escolher o movimento base "balançar os braços e cruzar" e visualizar

Tarefa 4: Visualizar dados do Paciente Escolher o paciente Jacinto e visualizar quantas sessões de fisioterapia teve

Tarefa 5: Visualizar dois movimentos Escolher o paciente Jacinto e comparar as execuções do movimento "balançar os braços e cruzar" do dia 11/07/2010 18:26 e do dia 11/07/2010 19:11

Resultados da Avaliação Preliminar

De acordo com as tabelas no anexo B, podemos concluir que, todos os utilizadores não manifestaram dificuldade em realizar as tarefas propostas e que não se distanciaram muito dos objectivos planeados.

No que respeita aos tempos de execução de cada tarefa, pode-se constatar através da figura 4.25 que todos os utilizadores demoraram mais tempo do que o estimado, não apresentando dificuldades na procura dos menus que representavam a descrição da tarefa.

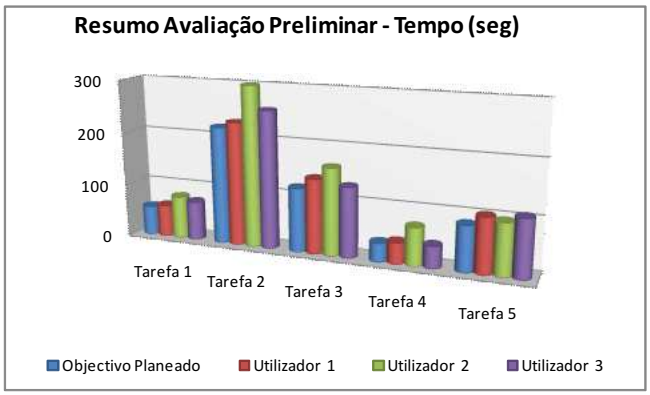


Figura 4.25: Resumo da avaliação preliminar - Tempo (seg)

Em relação ao número de erros (Figura 4.26), podemos observar que só foram detectados dois erros, um na tarefa 4 realizado pelo utilizador 2, e o outro na tarefa 5 realizado pelo utilizador 3. Estes erros ocorreram porque o utilizador não leu bem as explicações ao longo da tarefa, apesar de terem sido detectados imediatamente pelo utilizador, o que lhes permitiu utilizar a opção "Back". Também podemos destacar que nas tarefas com erro, o número de ecrãs aumentou em mais dois (Figura 4.27).

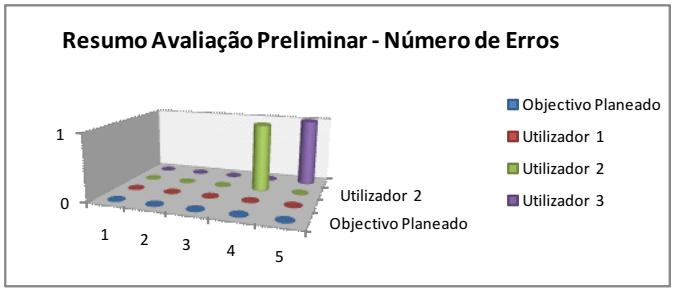


Figura 4.26: Resumo da avaliação preliminar - Número de Erros

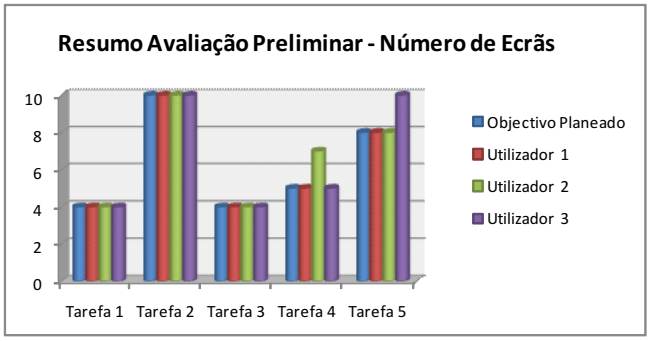


Figura 4.27: Resumo da avaliação preliminar - Número de Ecrãs

No geral, os fisioterapeutas mostraram-se bastante interessados na aplicação e na sua utilização. Demonstraram algumas dificuldades na utilização do sistema, mais propriamente na criação de um novo movimento base. Para os fisioterapeutas, não é claro a necessidade de haver uma fase de calibração dos sensores. Em relação ao resto das funcionalidades, referiram que o aspecto de comparação de movimentos, será muito útil, pois normalmente têm muitos pacientes, e realizam muitas sessões de fisioterapia por dia, e quando necessitam de se recordarem do que realmente aconteceu passado uns meses, a memória já não ajuda. Referiram que não é impossível realizar este tipo de comparações a olho, mas que se houvesse um sistema que os ajudasse a realizar esta comparação, facilitaria muito o processo da fisioterapia.

4.4.2 Avaliação Heurística

Depois de terminado o sistema, com base nos requisitos definidos, procedemos com a avaliação heurística do sistema, onde é submetido para diferentes avaliadores que irão dar o seu parecer baseando-se nos mesmos princípios, as chamadas heurísticas. Com base no guião da avaliação heurística (Anexo C.1), foram realizados os testes a 5 utilizadores peritos. Esta escolha deve-se principalmente porque os utilizadores peritos conseguem identificar os problemas mais graves de usabilidade na avaliação com base em critérios heurísticos, permitindo realizar posteriormente testes de utilizadores com melhores resultados.

Também necessitamos de um utilizador onde colocar os sensores de tracking, e que realize os movimentos enquanto os utilizadores peritos utilizam o sistema.

De seguida iremos apresentar as falhas apresentadas pelos utilizadores peritos para cada tarefa:

Tarefa 1

Esta tarefa consiste em o utilizador adicionar um paciente ao sistema, e foram destacadas as seguintes falhas:

ID	Erros	Heuristica	Severidade	Comentários	Numero de ocorrências
T1-1	Data de Nascimento	H2-5 H2-7	2	Mostrar um calendário para escolher a data	2
T1-2	Porque carregar no"clique aqui" para iniciar	H2-7	2	Devemos poder clicar em qualquer lado para iniciar	1
T1-3	Ajuda por cada campo	H2-10	2	A ajuda deveria mostrar conteúdo de acordo com o campo seleccionado	2
T1-4	Botão guardar	H2-4	2	O botão guardar deveria estar do lado direito, de acordo com os outros botões	2
T1-5	Shift+TAB não funciona	H2-1	3	Deveria funcionar no sentido inverso do tab	1
T1-6	Qual o campo que estou a editar	H2-1	4		5
T1-7	Botões Home, Help, Back em ingles	H2-2	3	Colocar o texto todo em português	5
T1-8	Ecrã inicial, titulo não centrado	H2-8	1	Central o titulo horizontalmente	1
T1-9	Completo/Incompleto	H2-5	1	Trocar o texto por uma combobox	5

Tabela 4.1: Lista de falha heuristicas na tarefa 1

Nesta tarefa, decidimos alterar as heurísticas T1-2,T1-4,T1-6,T1-7,T1-8 e T1-9, pois foram destacadas como as mais importantes para o bom funcionamento da tarefa.

A heurística T1-2 refere-se à entrada no sistema, onde era pedido ao utilizador que carrega-se num botão para iniciar a aplicação. Com esta avaliação, vimos que não fazia sentido, e optamos por permitir que o utilizador clique em qualquer parte do ecrã.

Em relação à heurística T1-4 a única alteração foi a sua posição, que acabava por não estar de acordo com todos os outros botões.

Já na heurística T1-6 a solução passou por identificarmos o campo que está a ser editado (Figura 4.28).

Figura 4.28: Edição de campos

Já no que consta à heurística T1-7 os botões estavam em Inglês, e foram todos passados para Português.

A heurística T1-8 refere-se a um problema de estética, no menu de apresentação do sistema. Foi alterado, o título do ecrã de modo a que esteja centrado horizontalmente.

Outra heurística alterada, foi a T1-9, que embora com menos severidade, relevou-se importante por todos os utilizadores a terem destacado como um aspecto que poderá evitar erros. A solução passou pela criação de um botão do tipo rádio, com as opções “Completo” e “Incompleto” (Figura 4.29)

Figura 4.29: Seleccção do tipo de Lesão

Tarefa 2

Esta tarefa é um pouco mais complexa do que a tarefa anterior, e consiste na criação de um movimento-base, passando por um processo de calibração dos pontos recebidos.

ID	Erros	Heuristica	Severidade	Comentários	Numero de ocorrências
T2-1	Path	H2-1 H2-4	1	Não é consistente com os outros ecrãs. Deve mostrar também a localização anterior	3
T2-3	Botoes Marcar/Demarcar todos pouco visivel	H2-7 H2-3	3	Aumentar o tamanho dos botões e/ou colocá-los mais perto dos modelos	2
T2-4	Highlight dos pontos/labels	H2-6	1	Ao colocar o rato sobre um label já atribuido, o ponto deve ser HigHigHted bem como a label	2
T2-5	Cor dos nós seleccionados	H2-2 H2-5	3	Começar desseleccionados	3
T2-6	Botões não se distinguem das labels	H2-4 H2-6	4	Identificar os botões com uma borda à volta	4
T2-7	Mensagens de sucesso ou erro poderiam ter cores	H2-8 H2-6	1	Mensagens de sucesso ou erro poderiam ter cores	1
T2-8	Não existe ajuda acerca da ordem pela qual os pontos devem ser seleccionados	H2-10 H2-5 H2-3	4	Permitir a selecção dos pontos quer nos menus-esqueleto, quer no esqueleto-menu	3
T2-9	Não existe informação de quantos passos faltam para acabar a tarefa	H2-1	3	Ter uma ilustração dos passos que faltam executar	2
T2-10	Sugestão na calibração	H2-7	2	arrastar(drag & drop) os pontos para as articulações correspondentes	1
T2-11	Wireframe fica activo após gravar o movimento	H2-8	1	Apagar o wireframe	1

Tabela 4.2: Lista de falha heuristicas na tarefa 2

Nesta tarefa, podemos destacar as heurísticas T2-1,T2-3, T2-5, T2-6, T2-8 e T2-9 como as principais para o bom funcionamento da tarefa. Começaremos então pela T2-1, onde em alguns ecrãs aparecia a "Path" com reticencias e de seguida um único menu (Figura 4.30 (a)). Optamos por, mostrar pelo menos dois menus como é possível verificarmos na Figura 4.30(b).

(a) Path antes da avaliação heurisitica (b) Path depois da avaliação heuristica

Figura 4.30: Melhoria na Path

Já no que consta à heurística T2-3, só alteramos a sua posição, para garantir que se consegue distinguir de todos os outros. Para a heurística T2-5, reparamos que o maior problema advinha da label descritiva no menu, onde dizia "Seleccione todos os pontos importantes para a realização do movimento", e acontecia que todos os pontos encontravam-se seleccionados, e que o utilizador tinha a tendência que carregar em cada ponto sem ler a legenda dos pontos. A solução passou por colocar todos os pontos desseleccionados, o que permitiu que deixou de induzir o utilizador em erro.

Para a heurística T2-6, decidimos destacar tudo o que era botão, com um background. Antes os botões, tinha um texto, e ao passarmos o rato por cima, notávamos alguma iluminação nas letras (Figura 4.31 (a)). Agora os botões destacam-se das labels utilizadas no sistema, com o background cinzento (Figura 4.31 (b)).

Figura 4.31: Melhoria nos Botões

Uma das maiores dificuldades nesta tarefa, está identificada na heurística T2-8, na fase de calibração dos pontos, onde é necessário a realização de uma associação dos pontos do esqueleto com os pontos nos menus. Esta associação, só poderia ser realizada pela ordem esqueleto-menu, ou seja, o utilizador carrega no esqueleto é associada uma cor ao ponto do esqueleto, e depois este carrega no menu, e a mesma cor fica associada ao ponto carregado no menu. Optamos por realizar a selecção nos dois sentidos, esqueleto-menu e menu-esqueleto, permitindo assim ao utilizador uma maior livre arbítrio na selecção.

Outro aspecto importante referido nesta avaliação, foi que ao longo das tarefas o utilizador não tinha a noção de quantos passos ainda faltavam para terminar a tarefa, T2-9. A solução está descrita na próxima figura (Figura 4.32), onde poderemos observar que são descritos os passos para a realização da tarefa.

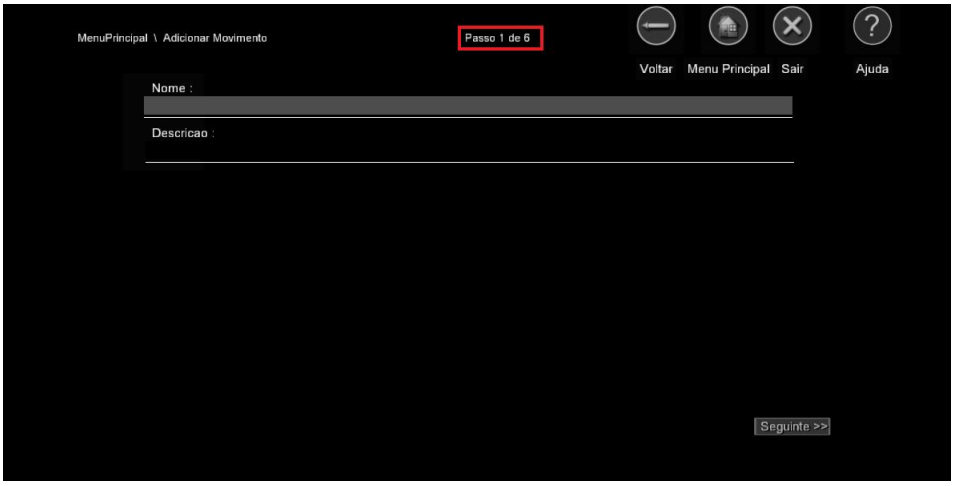


Figura 4.32: Solução com número de passos da tarefa

Tarefa 3

Para esta tarefa, foi pedido ao utilizador que visualize o movimento base "balançar os braços e cruzar" e visualizar, e durante esta avaliação foram destacados os seguintes aspectos que não respeitam as heurísticas de nielson.

ID	Erros	Heuristica	Severidade	Comentários	Numero de ocorrências
T3-1	Nós já estão vermelhos antes de estarem seleccionados. Pouco consistente coma tarefa anterior	H2-2 H2-4	2	Os nós devem ser brancos e só ficarem a vermelho ao seleccionar	2
T3-2	Labels deixam de ser visíveis ao rodar o modelo	H2-1 H2-4 H2-7	3	As labels deverão ser billboards e estarem sempre viradas para o utilizador, mesmo quando o modelo roda	2
T3-3	Header de secção, "Distancia linear" devia ser maior	H2-8	1		1
T3-4	Angulos deveria ter apenas 2 casas decimas	H2-8 H2-4	1	Também se aplica aos outros calores	2
T3-5	Unidades de distância	H2-2	3		1
T3-6	No ecrã de visualização os labels, posição, angulos e distancia estão vazio	H2-8	2	Só devem aparecer quando for necessário	1
T3-7	Seleccionar 5 pontos	H2-10	3	Devia conseguir seleccionar mais do que 4 pontos	1
T3-8	Quando rodo o esqueleto, não consigo ler as lebels	H2-8	2		4
T3-9	Não consigo voltar ao estado inicial da rotação	H2-7	1		1
T3-10	Mexer na velocidade não surte efeito enquanto estamos em "Play"	H2-5	2		1
T3-11	Botão de Play pouco perceptivel	H2-1 H2-8	3	Tons de cinzento parecidos. Aumentar o contraste ou tirar o circulo e ficar só o triângulo	1
T3-12	Botão "sair"	H2-4	2	Até agora todas as tarefas tinham um botão para "concluir" a tarefa	1

Tabela 4.3: Lista de falha heuristicas na tarefa 3

Passamos a destacar os principais erros durante a realização da tarefa: T3-1, T3-3, T3-10 e T3-12.

O primeiro erro T3-1, já foi destacado anteriormente e foi referenciado como o T2-5, e resolvemos começando com todos os pontos desseleccionados. Outro aspecto que dificultou a realização da tarefa, foi o erro T3-3, onde não se conseguia distinguir os títulos do resto do conteúdo, tornando-se essencial realçar os títulos aumentando o seu tamanho. Outro erro, não menos importante do que os outros, é a possibilidade de mudarmos a velocidade de reprodução, quando o movimento está a ser reproduzido, T3-10. Este foi mais um dos aspectos que resolvemos para a melhor utilização do sistema.

Por fim, foi-nos destacado a falta de um botão para concluir a tarefa, o que se tornava pouco consistente com todas as outras tarefas.

Tarefa 4

Uma outra tarefa foi a escolha do paciente Jacinto e visualizar quantas sessões de fisioterapia teve. Os utilizadores apontaram nesta tarefa as seguintes falhas:

ID	Erros	Heuristica	Severidade	Comentários	Numero de ocorrências
T4-1	Não existe ajuda nos menus	H2-10	3		5
T4-2	Ecrã de listagem de sessões: quem é o paciente	H2-1	2	Podia aparecer o Nome do paciente	3

Tabela 4.4: Lista de falha heuristicas na tarefa 4

A principal falha, que destacamos como importante a sua resolução para o bom funcionamento da aplicação é a T4-1, na qual o utilizador precisou de recorrer à ajuda para saber que opção no menu das sessões (

Figura4.33) deveria escolher. Adicionamos um botão ajuda, e uma secção que pode ficar visível ou não (Figura 4.33).

MenuPrincipal \ Escolher Paciente \ Menu sessoes
Voltar
Menu Principal
Sair
Ajuda
Comparar movimentos
Visualizar sessoes
Gravar Movimento
Comp. Mov. - Compara execucoes do mesmo movimento; Vis. Sessoes - Visualizar movimento realizado pelo paciente ; Gravar Mov.- Gravar ralizacao do movimento

Figura 4.33: Ajuda no menu sessões

Tarefa 5

Para finalizar, pedimos ao utilizadores uma ultima tarefa, escolher o paciente Jacinto e comparar as execuções do movimento "balançar os braços e cruzar" do dia 11/07/2010 as 18:26 e do dia 11/07/2010 19:11, à qual foi-nos indicado as seguintes falhas nas heurísticas de nielson (Anexo C.2).

ID	Erros	Heuristica	Severidade	Comentários	Numero de ocorrências
T5-1	Botao de mostrar execuções não é claro	H2-2	1	Fazer "text wrap" e mostrar a palavra "execuções " toda	1
T5-2	Não sei a correspondencia entre movimentos e labels do pontos	H2-2	3		1
T5-3	Conseguir andar no movimento enquanto está em pausa	H2-3	4		4
T5-4	O final do movimento não é visivel na barra	H2-1	1		3
T5-5	Não dá para arrastar na barra	H2-3	3		2
T5-6	Não é possivel ver só o azul ou só o vermelho	H2-7	2	Ter forma de visualizar só um movimento	1

Tabela 4.5: Lista de falha heuristicas na tarefa 5

Optamos por corrigir as falhas que apresentam maior severidade, T5-2,T5-3 e T5-5. Em relação à falha T5-2, quando o utilizador queria ver em detalhe os pontos no esqueleto, os pontos tinham uma identificação do tipo "pontoOmbroEsq", o que poderia acontecer quando seleccionados muitos pontos para análise, muitos pontos começados por "ponto", tornando-se um pouco confuso para a pesquisa do ponto. Resolvemos identificar os pontos sem o "ponto", ficando apenas identificado pela sua localização no esqueleto, "OmbroEsq". Outra falha, com maior severidade, é a T5-3, onde por vezes acontecia que a barra da reprodução do movimento não se movia, mas o esqueleto movia-se. Corrigimos este erro e acabamos com corrigir também a falha T5-4, pois também não funcionava.

Outro aspecto importante que notamos que seria interessante era arrastar a barra (Figura 4.34) para o sitio que pretendemos, T5-5. Implementamos esta solução, para que o modo de reprodução de um movimento, se parece-se o mais possível com um reprodutor de vídeo (Figura 4.34).

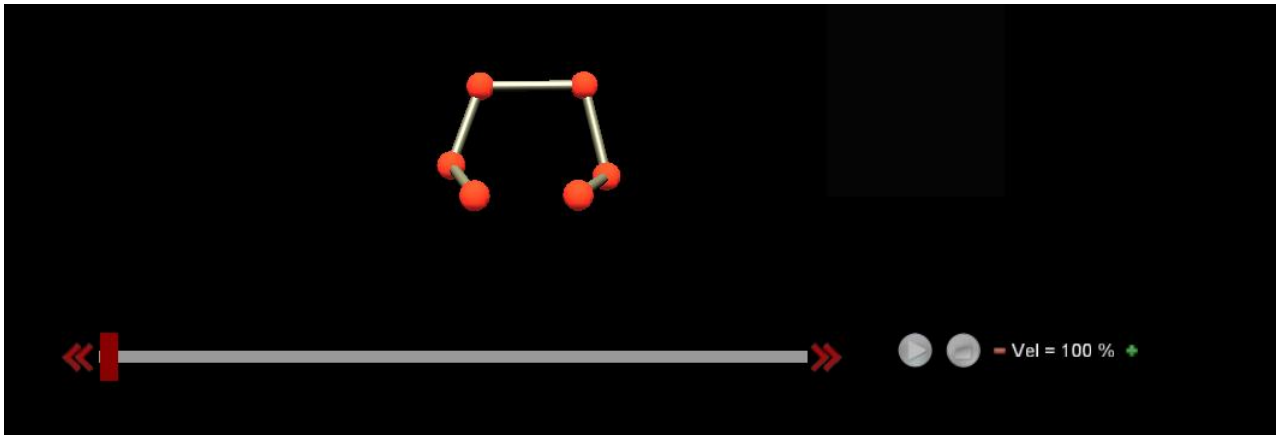


Figura 4.34: Barra de reprodução de movimento

4.4.3 Conlusões

Depois de definidos os requisitos do sistema, de definirmos a arquitectura e decisões de desenho, realizamos alguns estudos preliminares com fisioterapeutas, para verificarmos o que achavam da aplicação. Foram realizadas algumas críticas, por utilizarmos uma fase de calibração dos sensores. Esta fase de calibração, não pode ser dispensada, pois necessitamos de um estado inicial para o sistema de tracking. Por outro lado, os fisioterapeutas acreditam que esta aplicação poderá ser muito útil no processo da fisioterapia.

Realizamos também uma avaliação heurística com 5 utilizadores peritos, onde foram destacados alguns erros de acordo com as heurísticas de nielson. A alguns destes erros, fizemos melhoramentos de maneira que fossem ao encontro das mesmas heurísticas , garantindo assim que a nível de interface estará dentro das regras para uma boa interface.

Capítulo 5

Avaliação

Todos os estudos realizados anteriormente com os utilizadores permitiram identificar algumas das principais necessidades que um sistema de apoio aos fisioterapeutas deve ter. De modo a concluirmos que o sistema poderá ser útil para as sessões de fisioterapia, começamos por definir que aspectos devem ser avaliados. Destacamos então aspectos como a precisão do sistema, a capacidade de manter um histórico, e a coerência entre a avaliação tradicional e recorrendo ao sistema.

A grande contribuição deste trabalho, passa por facilitar a percepção de evolução do paciente, através de um sistema que permite gravar os movimentos realizados e compará-los com outras execuções do movimento.

5.1 Perguntas de Investigação

Antes de começarmos com a avaliação, destacamos algumas questões que se tornaram objectivos a cumprir neste sistema.

P1: Conseguimos obter um histórico do paciente?

Esta é uma das grandes contribuições deste trabalho. Ao conseguirmos manter um histórico do paciente, conseguimos garantir uma coerência nos dados, ou seja, se por exemplo houver uma troca de fisioterapeutas, a evolução de um paciente estará registada no sistema e assim poderá continuar a sua avaliação com o mínimo atraso.

P2: A avaliação consegue ser mais precisa?

Ao termos um sistema em que a avaliação consegue ser mais precisa do que a avaliação a olho, garantimos que todos os fisioterapeutas que utilizem este sistema conseguem avaliar com a mesma medida, isto é, se o paciente realizar uma abertura do braço esquerdo, o sistema consegue dar o ângulo de abertura exacto, ao passo que os fisioterapeutas conseguem dar uma aproximação. E assim garante-se que os pacientes são todos avaliados sob o mesmo modo, e não com aproximações e suposições.

P3: Consegue-se detectar uma evolução no paciente?

Este aspecto torna-se importante, uma vez que o grande objectivo de um paciente realizar fisioterapia é a sua evolução. Será então importante conseguir-se detectar que houve alguma evolução no paciente, apesar de sabermos que este processo poderá ser demorado.

P4: Consegue-se motivar os fisioterapeutas ao uso do sistema?

Quanto mais o sistema estiver adaptado às reais necessidades do dia-a-dia dos fisioterapeutas, maior será a motivação e aceitação para a utilização deste tipo de sistemas de informação de apoio à fisioterapia.

5.2 Participantes

Conseguimos reunir um conjunto de 3 fisioterapeutas, com idades compreendidas entre os 22 anos e os 35 anos.

Uma das fisioterapeutas encontra-se no 4º ano da licenciatura, e as outras já exercem a profissão há 4 e 10 anos. Uma das fisioterapeutas já trabalhou num centro de fisioterapia com pacientes tetraplégicos e paraplégicos durante um ano (Tabela 5.1).

	Idade	Anos de experiência	Experiência com pacientes tetraplégicos
Fisioterapeuta 1	35	10 anos	Não
Fisioterapeuta 2	22	Ainda não terminou	Não
Fisioterapeuta 3	26	4 anos	Sim

Tabela 5.1: Dados dos fisioterapeutas

Para além dos fisioterapeutas necessitamos de uma pessoa auxiliar para executar os movimentos e de um observador da sessão. Optámos por um utilizador sem deficiência para a realização dos movimentos, pois a sua deslocação ao local da avaliação seria mais uma dificuldade para a realização dos testes. Esta opção não influência os resultados, pois não existe a possibilidade de a avaliação sair prejudicada, uma vez que os principais utilizadores do sistema são os fisioterapeutas.

5.3 Local e Material utilizado

A avaliação foi realizada na sala Lourenço Fernandes (Sala 1.21) do Instituto Superior Técnico no pólo do TagusPark (Figura 5.1).

Nesta sala utilizamos o sistema de tracking, dos quais fazem parte 10 câmaras de vídeo e um programa de computador (OptiTrack) capaz de analisar as imagens geradas por estas câmaras e 12 marcadores retro-flexíveis à luz infravermelha . Depois de os dados serem recolhidos são enviados para o módulo OpenIVI que devolve ao nosso sistema as coordenadas dos marcadores.

Figura 5.1: Sala Lourenço Fernandes

Durante a avaliação, utilizamos um computador portátil ASUS modelo F6A Intel Pentium Dual CPU T3200 @ 2.00GHz, com 3 GB de RAM e com o sistema operativo Windows Vista. Recorremos também a duas câmaras fotográficas para a gravação de diferentes ângulos das execuções dos movimentos.

5.4 Procedimento

Dividimos a realização dos testes em três sessões, cada uma com três utilizadores, onde atribuímos a cada fisioterapeuta um lugar/papel em cada sessão para avaliar o movimento (Figura 5.2). No fim da segunda e terceira sessão de testes, pedimos aos fisioterapeutas que fizessem uma comparação da evolução do paciente com o modo automático ou manual. Para esta avaliação, pedimos aos utilizadores que avaliassem um conjunto de movimentos respondendo ao questionário de avaliação (Anexo E).

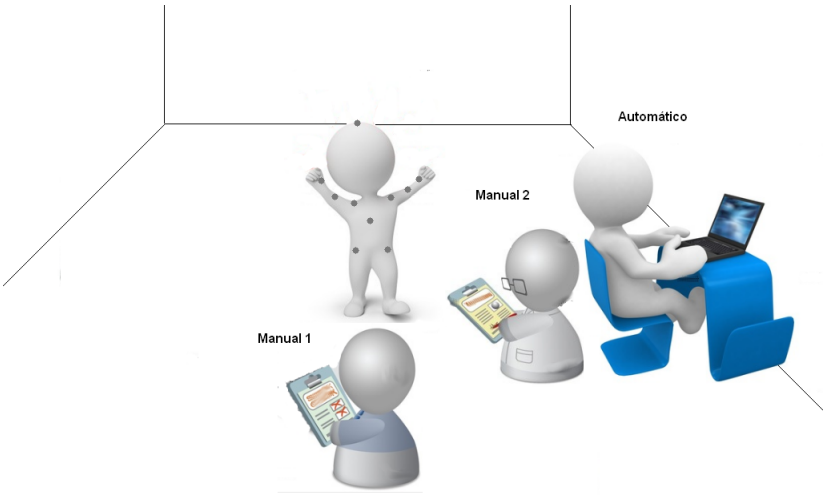


Figura 5.2: Cenário da avaliação

Para cada fisioterapeuta foi definida uma posição, manual se tiver de fazer uma avaliação com o método tradicional, e automático se utilizaram o sistema para a avaliação. Estas posições rodaram de sessão para sessão, de modo a que cada utilizador ocupasse todas as posições, tal como está disposto na tabela 5.2.

	1º sessão	2º sessão	Comparação	3º sessão	Comparação
Fisioterapeuta 1	Automático	Manual 2		Manual 1	
Fisioterapeuta 2	Manual 1	Automático		Manual 2	
Fisioterapeuta 3	Manual 2	Manual 1		Automático	
	Discussão	Discussão	Discussão	Discussão	Discussão

Tabela 5.2: Plano de Sessões

No final de cada sessão, os resultados foram muito diferentes, optámos por realizar uma discussão com os três fisioterapeutas, onde em conjunto avaliam o movimento e respondem ao questionário. No final da sessão 2 e 3, realizamos questionários de comparação (Anexo E) com base em todos os movimentos já executados .

Para a avaliação optámos por escolher os movimentos referidos no ponto 3.1.2 que foram definidos junto dos fisioterapeutas.

O primeiro movimento, é a elevação do ombro no plano horizontal até aos 90º de flexão, com rotação interna, ou seja, a palma da mão virada para o chão.

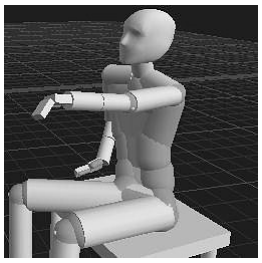


Figura 5.3: Exemplo do movimento 1- elevação do ombro com rotação interna

O segundo movimento, baseia-se na repetição do primeiro, mas com rotação externa, ou seja, com a palma da mão virada para cima.

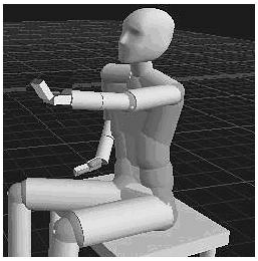


Figura 5.4: Exemplo do movimento 2- elevação do ombro com rotação externa

O último movimento, é a hiper-extensão do ombro com rotação interna, ou seja, com a palma da mão virada para trás.

Figura 5.5: Exemplo do movimento 3 - hiper-extensão do ombro com rotação interna

Para cada um dos três movimentos realizamos o plano de sessões apresentado anteriormente.

Durante a avaliação dos movimentos, destacamos pontos que recorrentemente os fisioterapeutas avaliam numa sessão de fisioterapia.

- O paciente durante o movimento manteve as costas direitas?

- O paciente conseguiu realizar um determinado ângulo?

- O paciente moveu a cabeça para a realização do movimento?

- O paciente moveu a bacia para a realização do movimento?

- O movimento manteve um ritmo estável?

- O movimento foi harmonioso?

5.5 Resultados

A realização dos testes dividiu-se em três dias, e decidimos realizar em cada dia, as respectivas sessões para cada movimento, isto é, no primeiro dia avaliamos a primeira sessão dos três movimentos, e nos restantes dois dias as segundas e terceiras sessões dos três movimentos.

Assim garantimos que ao passar alguns dias entre as sessões, conseguimos uma maior comparação em relação à realidade no mundo da fisioterapia. Por exemplo, se dissermos ao paciente que levante o braço realizando um ângulo de 90^{o} com o tronco duas vezes seguidas, e ao pedirmos ao fisioterapeuta que os compare, a sua noção de evolução do paciente não será a mais correcta, pois numa situação real o processo da fisioterapia costumam passar alguns dias, e o fisioterapeuta pode já não ter a certeza e a precisão do que aconteceu.

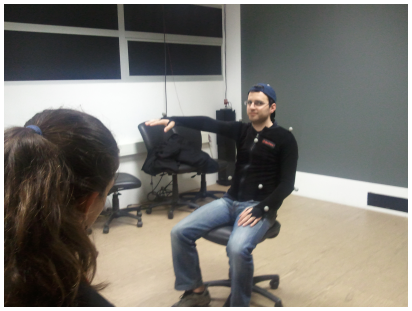


Figura 5.6: Utilizadores durante a avaliação

5.5.1 Montagem e Calibração

Começámos por pedir ao fisioterapeuta que estava na posição automático que colocasse os sensores no paciente, e cronometrámos este processo.

Na figura 5.7, mostramos um gráfico com o resumo dos tempos que os fisioterapeutas levaram a montar os sensores:

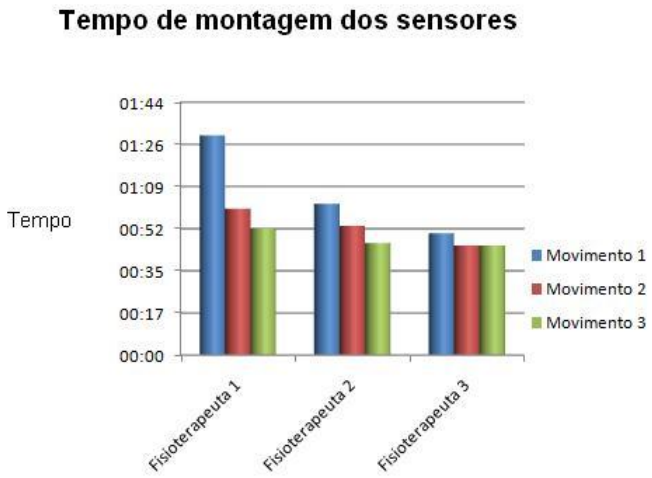


Figura 5.7: Tempo de montagem dos sensores

Podemos concluir, que cada fisioterapeuta foi melhorando os seus tempos, devido ao acumular de experiência, também podemos observar que o melhor tempo foi 45 segundos, o que se torna bastante aceitável para o processo de fisioterapia.

Outro aspecto que também necessitou de ser cronometrado foi a calibração dos pontos no sistema, dado ser necessário garantir que o fisioterapeuta não irá dispensar muito tempo na montagem do sistema, e isso inclui a calibração.

Os resultados desta medição estão no gráfico apresentado na figura 5.8 :

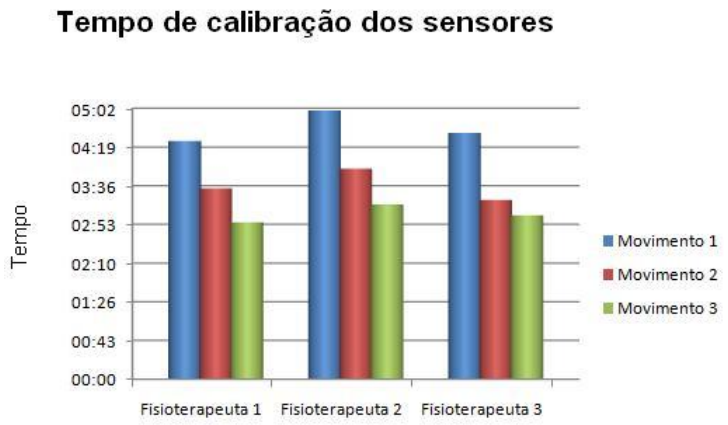


Figura 5.8: Tempo de calibração dos sensores

Tal como observado na montagem dos sensores, conseguimos concluir que o tempo na calibração dos mesmos para cada fisioterapia diminui com a experiência. Destacamos também os 2 minutos e 55 segundos como o melhor tempo neste processo, mas acreditamos que com mais prática, este tempo podia ser melhorado.

O processo da montagem dos sensores, será aplicado em dois casos, no inicio da sessão ou se os sensores aplicados no paciente não forem suficientes para a avaliação de um novo movimento. Já o processo de calibração dos sensores será necessário aplicar sempre que se começa a executar um movimento novo, e quando o paciente, por algum motivo já não se manter na posição da ultima calibração.

Foram realizados alguns testes para a medição da distância entre as posições calibradas e a posição actual do paciente, e concluímos que quanto maior a concentração dos sensores colocados no paciente, menor será esta distância. Por exemplo, se colocarmos os 12 sensores referidos na secção 3.1.2 a distância não deverá ultrapassar os 20 centímetros, e se por exemplo, só tivermos sensores nos membros superiores a distância não deverá ultrapassar os 35 centímetros.

Em suma, no mínimo o fisioterapeuta demoraria em média 220 segundos, ou seja, 3 minutos e 40 segundos a colocar os sensores e a calibrá-los, mas no pior caso, se por exemplo tiver de fazer 4 calibrações aos sensores, demoraria 45 segundos na colocação dos sensores, mais (2 min 55 seg) * 4 o que dá 11 min e 40 seg. Durante a maioria dos testes realizados, nunca foi preciso calibrar mais do que 3 vezes por sessão.

5.5.2 Precisão e Grau de Certeza

Durante a avaliação deparámo-nos com situações em que não havia unanimidade nas respostas, como conseguimos observar na tabela 5.3. Quando questionámos os fisioterapeutas se o paciente moveu a bacia para a realização do movimento, os fisioterapeutas nas posições automático e manual 2 responderam afirmativo, e o fisioterapeuta na posição manual 1, respondeu negativo. Resolvemos então, realizar uma discussão, em que os três fisioterapeutas avaliaram o movimento em conjunto.

	Sessão 3			Discussão
	Automático	Manual 1	Manual 2	
O paciente durante o movimento manteve as costas direitas?	Não	Não	Não	Não
O paciente conseguiu realizar um ângulo de aproximadamente 90 º ?	Aprox. 75º	Sim	Sim	Não
O paciente moveu a cabeça para a realizaçao do movimento?	Não	Não	Não	Não
O paciente moveu a bacia para a realização do movimento?	Sim	Não	Sim	Sim
O movimento manteve um ritmo estável?	Sim	Sim	Sim	Sim
O movimento foi harmonioso?	Sim	Sim	Sim	Sim

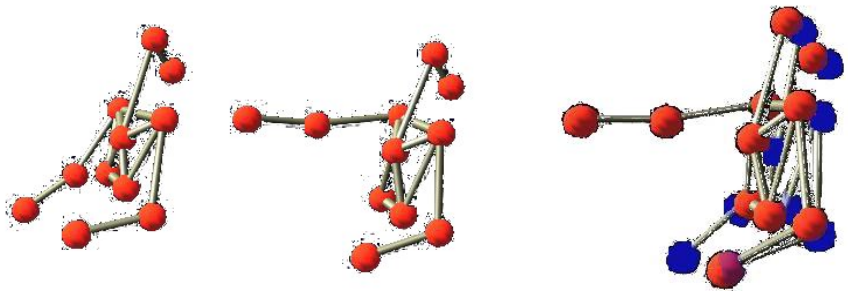
Tabela 5.3: Resumo da terceira sessão do primeiro movimento

Recorrendo às filmagens do movimento nas posições manual 1 e manual 2 (Figura 5.9), onde conseguimos observar que o fisioterapeuta na posição manual 1 não consegue observar compensações na bacia (Figura 5.9 (a) e (b)), mas já o fisioterapeuta na posição manual 2 consegue-se aperceber deste detalhe(Figura 5.9(c) e (d)). Após a visualização das filmagens o fisioterapeuta na posição manual 1 concordou que não conseguiu observar a compensação por estar de frente para o paciente, e que este é um ângulo morto para este tipo de compensações.

(a) Posição M1 - Estado Inicial (b) Posição M1- Estado Crítico (c) Posição M2- Estado Inicial (d) Posição M2- Estado Crítico

Figura 5.9: Comparação das visualizações de posições diferentes

Ao observarmos o movimento na aplicação, recorrendo ao reprodutor de movimento (Figura 5.10 (a)) nem todos os fisioterapeutas conseguiram observar se houve ou não compensação continuando a existir a incerteza. Ao mostrar a comparação do mesmo movimento, e observarmos a azul o estado inicial do movimento, e a vermelho o estado crítico (Figura 5.10 (c)).



(a) Posição Automático - Estado Inicial (b) Posição Automático - Estado critico (c) Comparação do movimento com sobreposição dos dois estados

Figura 5.10: Comparação dos Estados

Depois desta análise, conseguiu-se chegar a um consenso nas respostas da avaliação a este movimento, destacada na coluna discussão da tabela 5.3.

Casos semelhantes ocorreram nas execuções de outros movimentos, e chegamos a um acordo recorrendo aos mesmos métodos.

Um outro aspecto importante é capacidade de precisão que o sistema pode oferecer aos fisioterapeutas. Se analisarmos o caso da tabela 5.4, conseguimos observar que o fisioterapeuta na posição automático definiu o ângulo de abertura a 75 graus, quando os outros fisioterapeutas destacaram 90º. Ao confirmarmos com a aplicação destacamos que a aplicação detectou 80 graus de abertura do braço quando na realidade se observarmos a figura 5.9 conseguimos afirmar que o paciente realizou os 90 graus. A razão desta discrepância poderá dever-se às posições onde foram colocados os sensores. Em suma, os 90 graus estimados a olho pelos fisioterapeutas nas posições manual 1 e manual 2, podem ser vistos com um ângulo diferente pelo sistema dependendo de onde são colocados os sensores.

Analisando a tabela 5.4, no caso do movimento 3 na última sessão, podemos observar pelos resultados do ângulo de abertura que todos os fisioterapeutas deram ângulos aproximados.

	Sessão 3			Discussão
	Automático	Manual 1	Manual 2	
O paciente durante o movimento manteve as costas direitas?	Não	Sim	Não	Não
O paciente conseguiu realizar um ângulo de aproximadamente 90 º ?	Aprox 70	Aprox 50	Aprox 60	Não
O paciente moveu a cabeça para a realizaçao do movimento?	Sim	Sim	Sim	Não
O paciente moveu a bacia para a realização do movimento?	Sim	Não	Sim	Sim
O movimento manteve um ritmo estável?	Sim	Sim	Sim	Sim
O movimento foi harmonioso?	Sim	Sim	Sim	Sim

Tabela 5.4: Resumo da terceira sessão do terceiro movimento

Analisando o que fisioterapeuta observou, não conseguimos chegar à conclusão de qual será o ângulo realizado. Optámos por ir à aplicação e verificar que ângulo foi realizado, e observamos que o ângulo era de 75 graus, sendo muito próximo do valor do fisioterapeuta na posição automático.

Figura 5.11: Visualizações das várias posições dos fisioterapeutas

5.5.3 Comparação entre sessões

Um dos problema que os fisioterapeutas tiveram nesta avaliação foi conseguirem realizar uma comparação de movimentos de diferentes perspectivas. Por exemplo, o fisioterapeuta que começou a primeira sessão no modo automático e de seguida foi realizar a comparação na posição manual 2, teve dificuldades em observar se houve ou não evolução, mas este problema também ocorreu na troca das posições manuais. Na realidade, não seria uma avaliação muito justa, pedir ao fisioterapeuta depois de ver uma animação tridimensional comparar com um novo tipo de visualização, neste caso um manual. Resolvemos então adicionar uma sessão de visualização no fim de cada sessão, ou seja, depois de terminada a primeira sessão do 1º movimento observámos no plano de sessões onde é que o fisioterapeuta iria estar na próxima sessão, e mostramos as gravações desta sessão. O mesmo procedimento foi realizado para os restantes movimentos, e repetido no final da segunda sessão dos três movimentos.

Na tabela 5.5, destacamos as posições por onde os fisioterapeutas passaram, por exemplo, A-M2-M1 significa que o fisioterapeuta em primeiro lugar esteve na posição automático, a seguir teve na posição manual 2 e por fim na posição manual 1.

Como é possível observar, existem alguns pontos onde os fisioterapeutas respondem de modo diferente, por exemplo, quando questionámos se o paciente conseguiu um maior ângulo de abertura, no final da segunda sessão, os fisioterapeutas que se encontram na posição manual 2 e automático, responderam que o ângulo aumentou, e o fisioterapeuta na posição manual 1 respondeu que o ângulo não aumentou. No final da sessão 3, o fisioterapeuta que esteve primeiro na posição manual 2, depois na posição manual 1, encontra-se agora na posição automático, e este já notou que houve uma evolução quanto ao ângulo de abertura. O mesmo aconteceu quando questionámos se houve menos compensação com a cabeça na execução do movimento.

Consegue-se observar algumas evoluções nas execuções e é possível verificar que os fisioterapeutas mudaram por vezes, a sua opinião depois de realizada a discussão da sessão. Isto pode-se dever ao facto de terem analisado a execução do movimento de diferentes posições e com a possibilidade de rotação do esqueleto tridimensional da nossa aplicação.

	Comparação - Final S2			Discussão	Comparação - Final S3			Discussão
	A - M2	M1- A	M2 - M1		A - M2 - M1	M1- A - M2	M2 - M1 - A	
A postura das costas melhorou?	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Não	Não	Não	Não
O paciente conseguiu um maior ângulo de abertura?	Sim	Sim	Não	Sim	Manteve	Manteve	Sim	Manteve
O paciente compensou menos o movimento na bacia?	Manteve	Manteve	Não	Manteve	Não	Não	Não	Não
O paciente compensou menos o movimento na cabeça?	Não	Não	Manteve	Não	Manteve	Manteve	Sim	Manteve
O movimento foi a um ritmo mais estável?	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve
O movimento foi mais harmonioso?	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve

Tabela 5.5: Valores respondidos na comparação das execuções do movimento 1

No final da segunda sessão, conseguimos verificar que nem todos os fisioterapeutas responderam igualmente ao questionário, resolvemos então perceber o porquê das suas respostas e qual seria mais correcta. Por exemplo, quando questionados se o paciente na segunda sessão conseguiu um maior ângulo de abertura, dois dos fisioterapeutas responderam que sim, e um outro respondeu que não.

No caso do fisioterapeuta na posição manual 1, não conseguiu observar nenhuma melhoria, ao contrário dos que se encontram nas posições manual 2 e automático que encontraram melhorias. Como as respostas não foram uniformes decidimos realizar uma discussão. Se observarmos as imagens das filmagens (Figura 5.12) em cada umas das posições conseguimos observar que houve uma pequena melhoria, mas muito difícil de se notar.

Como com estas filmagens não conseguimos chegar a nenhuma conclusão, optámos por utilizar o sistema e comparar as duas sessões (Figura 5.13). Se observarmos a figura 5.13, rapidamente verificamos que um dos braços conseguiu um maior ângulo de abertura, sendo que as bolas representadas a vermelho indicam o movimento na segunda sessão, e as bolas a azul representam o movimento da primeira sessão. Deste modo, todos os fisioterapeutas chegaram a um acordo nas respostas ao questionário.

Figura 5.12: Comparação da sessão 1 e sessão 2 nas posições manual 1 e manual 2

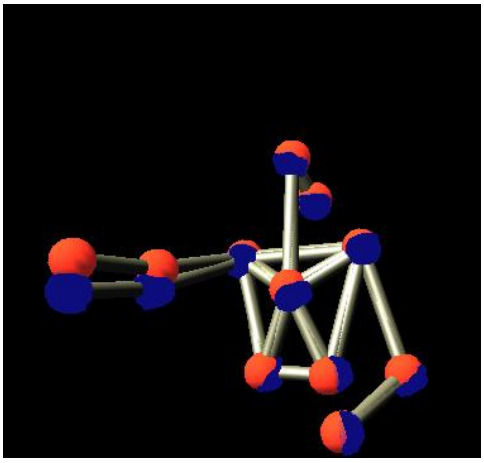


Figura 5.13: Comparação da sessão 1 e sessão 2 na posição automático

5.5.4 Coerência de dados

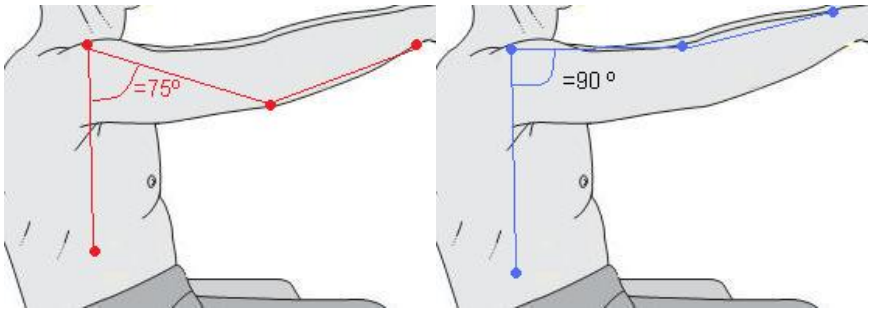
Após realizarmos os questionários de comparação de movimentos, conseguimos observar que os fisioterapeutas tinham muita dificuldade a chegarem a uma posição nova e terem de realizar uma comparação com outros movimentos. O mesmo se passa quando por algum motivo, os fisioterapeutas de um paciente mudam. Neste caso, o paciente pode correr o risco de não estar a ser avaliado sempre com a mesma medida, ou seja, como podemos observar nas tabelas discutidas anteriormente, um ângulo de abertura de 70 graus para um fisioterapeuta pode ser 50 graus para outro. Uma avaliação realizada a olho sofre sempre diferenças nas medidas de avaliação consoante o fisioterapeuta.

Com a nossa abordagem, podemos garantir que se o fisioterapeuta precisar, poderá analisar o histórico do paciente e assim, ao começar com um paciente que já estava a ser observado, irá poder observar toda a sua evolução.

Um outro aspecto que destacamos como um grande problema, é o facto de não haverem medidas para a avaliação de um paciente. Os fisioterapeutas, à partida, sabem que aspectos devem avaliar num movimento, mas quanto à avaliação do mesmo não está definida nenhuma norma classificativa. Ao utilizarmos a aplicação, a avaliação destes aspectos poderia ser toda uniformizada, pois como observámos durante a avaliação, quando nas discussões havia alguma incerteza quanto à resposta, recorríamos sempre a aplicação para realizar uma comparação dos movimentos e analisar os aspectos em dúvida. Observámos que muitos dos aspectos a avaliar

quando comparados com outras execuções, geravam sempre algumas dúvidas que eram desfeitas quando se recorria à comparação de movimentos.

Durante a avaliação reparámos que esta coerência de dados poderia variar muito conforme a colocação dos sensores. Por exemplo, se um fisioterapeuta colocava os sensores na parte inferior do braço (Figura 5.14 (a)) o ângulo de abertura seria igual a 75 graus, mas se coloca-se os sensores na parte superior dos braços (Figura 5.14 (b)) o ângulo já seria igual a 90 graus.



(a) Sensores colocados na parte inferior do braço (b) Sensores colocados na parte superior do braço

Figura 5.14: Colocação dos sensores

Durante a avaliação garantimos que foram colocados os sensores o mais próximo da sessão anterior. Este problema seria resolvido se forem marcados no fato o lugar onde devem ser colocados os sensores, garantindo assim, que os sensores estavam na posição correcta em todas as avaliações.

5.6 Discussão

Sendo o principal objectivo deste trabalho desenvolver uma aplicação de auxílio aos fisioterapeutas com mecanismos de monitorização e de acompanhamento, de modo a melhorar a noção da evolução do paciente de uma forma mais eficiente do que com o processo actual da fisioterapia, destacámos no principio deste capítulo algumas questões de investigação às quais iremos responder de seguida.

P1: Conseguimos obter um histórico do paciente?

Durante a avaliação observámos uma grande necessidade de se visualizar mais uma vez a penúltima execução do movimento, visto normalmente passarem alguns dias de uma sessão de fisioterapia para a outra. Com a capacidade do sistema de captura do movimento e da sua gravação, conseguimos guardar todos os movimentos que foram executados. Ao acrescentarmos a capacidade de reprodução de uma execução do movimento ou a comparação de duas execuções do movimento, passamos a garantir que todos os movimentos que foram guardados possam ser visualizados separadamente, ou em conjunto.

No decorrer da avaliação, observámos que das vezes que os fisioterapeutas necessitavam de observar algum aspecto que não recordavam desde a última sessão, a aplicação ajudava-os. Podiam sempre, no fim da avaliação, recorrer à aplicação para visualizar mais uma vez o que tinha sido executado ou para visualizar quais as diferenças entre as últimas execuções.

Assim, podemos responder afirmativamente a esta questão, devido à capacidade de gravação e reprodução dos movimentos, e da capacidade de comparação dos movimento. Será ainda mais relevante mantermos o histórico com o passar dos meses, quando queremos medir melhorias nos pacientes.

P2: A avaliação consegue ser mais precisa?

No decorrer da avaliação observámos que tal como esperado, o sistema será mais preciso do que a avaliação a olho dos fisioterapeutas. Uma vez que, a avaliação quando é realizada com o sistema consegue garantir qual a distância de um ponto ao outro, ou então qual o ângulo entre os pontos. No entanto, de uma sessão para a outra, pode acontecer o sistema não estar a ser medido da mesma forma, ou seja, pode ocorrer o fisioterapeuta colocar os sensores um pouco mais ao lado do que na sessão anterior, e assim na comparação dos movimentos podemos pensar que o paciente por exemplo poderá estar a descair mais o braço. Como não convém que aconteça, sugerimos a incorporação dos sensores no fato do paciente, para que estes de sessão para sessão estejam sempre no mesmo sitio ou relativamente perto. Ainda assim, poderá acontecer não querermos detectar um sensor que está incorporado no fato, podemos resolver este problema, com a marcação do lugar dos sensores nos fatos e, no inicio da sessão colocarmos os sensores nos lugares marcados.

Em suma, para a avaliação de um movimento, a nossa abordagem é mais precisa do que a abordagem tradicional, mas no caso da comparação de movimentos, deveremos ter sempre em atenção como e onde foram colocados os sensores, de modo a que existam menos erros ou incoerência.

P3: Consegue-se detectar uma evolução no paciente?

Para esta questão deveríamos ter realizado uma avaliação mais demorada, de preferência alguns meses.

Mas com a avaliação que realizamos, observámos que na maioria dos casos os fisioterapeutas de uma sessão para a outra não conseguirem dar com certeza o que realmente melhorou/piorou no paciente, assim em intervalos de tempo maiores esta certeza irá diminuir. Com a comparação dos movimentos da nossa aplicação, conseguiram visualizar ao mesmo tempo o que melhorou ou piorou. Esta possibilidade de visualizar duas execuções dos movimentos sobrepostos, permitiu analisar com atenção a evolução do paciente, mas também devemos ter em conta onde são colocados os sensores. Porque ao colocarmos um sensor um pouco mais abaixo da sessão anterior, o fisioterapeuta poderá realizar uma avaliação da evolução do paciente que não está correcta.

Podemos afirmar então, que se os sensores forem colocados sempre no mesmo lugar, conseguimos detectar mais facilmente a evolução do paciente.

P4: Consegue-se motivar os fisioterapeutas ao uso do sistema?

No final da avaliação pedimos aos fisioterapeutas que respondessem a um pequeno questionário de satisfação, do qual conseguimos os resultados da tabela 5.6:

	Medidas			Fisioterapeuta 1	Fisioterapeuta 2	Fisioterapeuta 3
Acharam a avaliação muito demorada ?	Nada	0 1 2 3 4 5	Muito	4	4	4
Acharam a avaliação muito dificil ?	Nada	0 1 2 3 4 5	Muito	3	4	4
Acharam que o sistema é preciso ?	Nada	0 1 2 3 4 5	Muito	4	5	4
O processo de montagem dos sensores é muito demorado ?	Nada	0 1 2 3 4 5	Muito	1	1	1
O processo de calibragem dos sensores é muito demorado ?	Nada	0 1 2 3 4 5	Muito	2	4	3
Utilizaria este sistema nas sessões de fisioterapia?	Não	0 1 2 3 4 5	Sim	5	4	5

Tabela 5.6: Resultados do questionário de satisfação

Depois de uma longa avaliação, onde alguns fisioterapeutas acharam que foi um pouco difícil, concluiu-se que se encontravam satisfeitos quanto à precisão do sistema e que apesar do tempo de calibragem dos sensores poderem ser melhorados o tempo de montagem dos sensores não rouba muito tempo à sessão. Mas no geral, os fisioterapeutas viram neste sistema uma potencial ferramenta de apoio à fisioterapia, nunca deixando de parte o elemento principal, o fisioterapeuta.

Capítulo 6

Conclusões

No inicio do nosso trabalho, definimos como principal objectivo, a criação de um sistema de apoio aos fisioterapeutas no processo de reabilitação de tetraplégicos. No trabalho relacionado, destacamos alguns sistemas de gestão de pacientes, bem como alguns sistemas de informação e jogos utilizados na reabilitação. Apesar de já existirem alguns sistemas direccionados para a fisioterapia, observamos que não existia nenhum com monitorização de movimentos, e que permitisse uma comparação dos movimentos para uma melhor análise da evolução do paciente.

6.1 Sumário da Dissertação

De modo a atingirmos os objectivos propostos, começamos com um estudo das reais necessidades de um tetraplégico e como é realizada a sua reabilitação. De seguida realizamos alguns questionários aos tetraplégicos, com a finalidade de encontrar quais as suas reais limitações, quer a nível motora quer a nível da fisioterapia.

Também foram realizados alguns questionários com os fisioterapeutas para entendermos as necessidades que os fisioterapeutas enfrentam no processo de fisioterapia. Definimos junto dos fisioterapeutas, alguns movimentos base, pontos cruciais para a avaliação dos movimentos, e linhas de orientação que utilizam durante a avaliação de um movimento.

Depois começamos a definir requisitos que seriam importantes para o sistema, e definimos a arquitectura da aplicação, tendo por base todas as funcionalidades que descrevemos como importantes.

Foram realizados estudos preliminares com os fisioterapeutas, para avaliarmos se a aplicação se adequava aos seus conhecimentos. Complementamos com uma avaliação heurística, onde foram destacadas algumas falhas nas heurísticas de usabilidade. Depois de alguns melhoramentos, realizamos a avaliação com os fisioterapeutas, com a finalidade de percebermos se as nossas perguntas de investigação foram cumpridas.

Na avaliação final, destacamos que o nosso sistema conseguia manter um histórico das sessões, devido à sua capacidade de gravação e de reprodução dos movimentos, bem como da comparação dos movimentos. Concluímos também que a nossa abordagem é mais precisa do que a abordagem tradicional. Mas observamos que no caso da comparação de movimentos, deve-se ter sempre em atenção como e onde são colocados os

sensores de tracking. Garantindo uma correcta colocação dos sensores, a nossa abordagem será mais precisa do que a avaliação a olho do fisioterapeuta. Outra questão de investigação, era a detecção de evolução do paciente, que também só será boa se conseguirmos uma boa colocação dos sensores, conseguimos mais facilmente detectar a evolução do paciente, recorrendo à comparação de movimentos. Quanto à motivação dos fisioterapeutas para a utilização do sistema, estes destacaram que a aplicação tem algumas funcionalidades que lhes dá muito jeito no dia-a-dia.

6.2 Trabalho Futuro

No decorrer do nosso trabalho de investigação, surgiram algumas ideias que podem ser vistas como futuros projectos.

6.2.1 Sincronização dos movimentos

Seria interessante que durante a comparação dos movimentos, conseguíssemos fazer com que os dois movimentos estivessem sempre a reproduzir a mesma parte do movimento. Por exemplo, quando na aplicação foram gravados dois movimentos e um deles por algum motivo atrasou o inicio do movimento, ou então realizou o movimento muito mais lentamente do que o outro movimento, seria interessante conseguirmos detectar quando é que os dois movimentos estão a realizar a mesma parte do movimento.

6.2.2 Estudo aprofundado da colocação dos sensores

Um dos problemas observados durante a avaliação da aplicação, foi que uma incorrecta colocação dos sensores pode fazer com que o sistema deixe de ser preciso. Logo, seria importante realizar-se um estudo aprofundado de uma maneira de se garantir que os sensores são sempre colocados no mesmo lugar.

6.2.3 Analisar informação num intervalo de tempo

Durante a avaliação, observamos que seria muito útil que a durante a visualização de um movimento, conseguíssemos observar com detalhe o intervalo de alguns pontos durante um intervalo de tempo, isto é, realizarmos quanto alterou o ângulo de abertura passados 10 segundos do movimento.

6.2.4 Incorporar jogos durante a realização dos movimentos

Seria interessante que durante a avaliação do movimento, que o tetraplégico conseguisse ter mais alguma motivação. Por exemplo, a incorporação de jogos durante a avaliação do movimento, garantia que o paciente conseguia-se uma maior motivação, e por consequência um melhor desempenho durante a fisioterapia.

Capítulo 7

Bibliografia

[1] M. L. H. Andrade. Fisioterapia e informatica, juntas na independência do portador de severo comprometimento neuromotor. *UniIFMU-FISIOTERAPIA: Revista de Fisioterapia do Centro Universitário do UniFMU*, 2003.

[2] Moussavi Z. Betker A.L., Szturm T. Development of an interactive motivating tool for rehabilitation movements. In *forthcoming Proc. 27th IEEE Engineering in Medicine and Biology Conference*, Shanghai, China, 2005.

[3] A L Brooks and E Petersson. Play therapy utilizing the sony eyetoy. *Proc. of the Eighth International Workshop on Presence*, pages 303–314, 2005.

[4] J Capitão and N Ribeiro. A realidade virtual na reabilitação. *Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Ciências da Saúde*, 2006.

[5] M. Correia. Análise de movimento em sequências de imagens. Master's thesis, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 1995.

[6] Bruno de Araujo. Architecture revision - documentation of the 2.1 openivi version and installation. Inesc-ID Instituto Superior Técnico.

[7] E.; May G.; Even-Zohar Eerden, W.J.; Otten. O. caren - computer assisted rehabilitation environment. *University of Amsterdam, Dept. of Rehabilitation, The Netherlands*, 1999.

[8] P. Fergus, K. Kafiyat, M. Merabti, A. Taleb-bendiab, and A. El Rhalibi. Remote physiotherapy treatments using wireless body sensor networks. In *IWCMC '09: Proceedings of the 2009 International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing*, pages 1191–1197, New York, NY, USA, 2009. ACM.

[9] AMADEU GUERRA. Relatório de auditoria ao tratamento de informação de saúde nos hospitais. 2004.

[10] P.L. Shahar M. Rand-D. Kizony, R. Weiss. Theragame: A home based virtual reality rehabilitation system. *International Journal on disability development*, 5:265–269, 2006.

[11] M. Kuttuva, R. Boian, A. Merians, G. Burdea, M. Bouzit, J. Lewis, and D. Fensterheim. The rutgers arm: An upper-extremity rehabilitation system in virtual reality. In *5th International Workshop on Virtual Rehabilitation (IWVR05)*, Sept. 2005.

[12] J. C. Cunha M. Cúnico. *Mouse Controlado por Sistema de Pressão para Indivíduos Portadores de Tetraplegia*, pages 1024–1027. Springer Berlin Heidelberg, 2008.

[13] N. Gordon-T. Clapp M. S. Arulampalam, S. Maskell. A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-gaussian bayesian tracking. 50(2):174–188, 2002.

[14] António Cardoso Martins. Sistema de gestão de doentes em ambientes hospitalares.

[15] Peter S. Maybeck. *Stochastic models, estimation, and control*, volume 141 of *Mathematics in Science and Engineering*. 1979.

[16] Donald A. Norman. *The Design of Everyday Things*. Basic Books, September 2002.

[17] Cooper RA Thorman TA Boninger ML. O'Connor TJ, Fitzgerald SG. Kinetic and physiological analysis of the gamewheels system. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 39, 2002.

[18] Raquel R. Pinho, João Manuel R. S. Tavares, and Miguel V. Correia. A movement tracking management model with kalman filtering, global optimization techniques and mahalanobis distance. In *ICCMSE 2005 - International Conference on Computational Methods in Science and Engineering*, pages 463–466, 2005.

[19] Patrice L. (Tamar) Weiss Rachel Kizony, Noomi Katz. Immersion without encumbrance : Adapting a virtual reality system for the rehabilitation of individuals with stroke and spinal cord injury. *The Journal of Visualization and Computer Animation*, Volume 14:261 – 268, 2003.

[20] Philip J. Rasch. *Cinesiologia e Anatomia Aplicada*. 7ª ed. Rio de Janeiro, Maio 1991.

[21] Lakshmi Sandhana. Robotic therapy tiles: Playing your way to health, 2007.

[22] C. H. Tator. Current primary to tertiary prevention of spinal cord injury. *Topics in spinal cord injury rehabiliton.*, 10:1–14, 2004.

[23] J. Tavares. Obtenção de estrutura tridimensional a partir de movimento de câmara. Master's thesis, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 1995.

[24] Cybex TRAZER. Cybex trazer - general information.

[25] Greg Welch and Gary Bishop. An introduction to the kalman filter. Technical report, Chapel Hill, NC, USA, 1995.

[26] B. K. Wiederhold and M. D. Wiederhold. Evaluation of virtual reality therapy in augmenting the physical and cognitive rehabilitation of war veterans. In *Proc. 6th Intl Conf. Disability, Virtual Reality & Assoc. Tech.*, 2006.

[27] Wikipédia. Fisioterapia — wikipédia, a enciclopédia livre, 2010. [Online; accessed 01-Janeiro-2010].

[28] Zhou H. Zhang S, Hu H. An interactive internet-based system for tracking upper limb motion in home-based rehabilitation. *Department of Computer Science, Shijiazhuang University, Shijiazhuang, Hebei, China*, 2008.

Apêndice A

Análise de tarefas

A.1 Questionário a tetraplégicos

1. Nome: _____
2. Idade: _____
3. Telefone: _____
4. Email: _____
5. Habilitações Literárias: _____
6. Nível da lesão cervical: _____
7. Completo ou Incompleto: _____
8. À quanto tempo tornou-se tetraplégico: _____
9. Qual foi a causa: _____
10. Qual as áreas que consegue controlar

	Esquerdo	Direito
Olhos		
Face		
Pescoço		
Ombro		
Braços		
Antebraço		
Mãos		
Dedos		

11. Quantas vezes realiza fisioterapia por semana: _____

12. Qual a duração: _____

13. Que tipo de exercícios: _____

14. Que maior dificuldade sente nos exercícios que realiza:

_____

15. No seu dia-a-dia qual os movimentos que sente mais dificuldade:

_____

16. Costuma interagir com o computador: _____

17. Que tipo de tarefas realiza: _____

18. Quais as tarefas que necessita de ajuda: _____

19. Necessita do auxílio de algum material para interagir com o computador, Qual:

_____

20. Utiliza desktop ou portátil: _____

21. Onde utiliza o computador: _____

22. Possui cadeira eléctrica: _____

23. Consegue movimentar-se sozinho na rua: _____

A.2 Respostas aos questionários de utilizadores

Questão	Resposta	Quantidade	Percentagem
Sexo:	Masculino	6	86%
	Feminino	1	14%
Idade:	17 - 25	4	57%
	25 - 30	2	29%
	30 – 40	1	14%
Habilitações Literárias:	5º ano	1	14%
	12º Ano	4	57%
	Licenciado	2	29%
Nível da lesão:	C4	1	14%
	C4/C5	1	14%
	C5	3	43%
	C5/C6	2	29%
Completo/incompleto:	Incompleto	6	86%
	Completo	1	14%
À quantos anos se tornou tetraplégico:	< 3	2	29%
	3-7	4	57%
	>7	1	14%
Causa:	Acidente de viação	2	29%
	Mergulho	3	43%
	Queda	1	14%
	Outros	1	14%
Quantas vezes realiza fisioterapia por semana:	2	1	14%
	3	3	43%
	Todos os dias	3	43%
Duração:	45min – 60min	5	71%
	60min – 120min	2	29%
Costuma interagir com o computador:	Sim	7	100%
Necessita de estar acompanhado no computador:	Não	7	100%
Possui cadeira eléctrica:	Não	5	71%
	Sim	2	29%
Necessita de auxílio de algum material para interagir com o computador:	Sim, Lápis	1	14%
	Não	6	86%
Consegue sair à rua sozinho:	Não	4	57%
	Sim	3	43%

A.3 Observação das sessões

- Nome do paciente: _____
- Grau da lesão: _____
- Nome do fisioterapeuta: _____
- Hora de Inicio: _____
- Hora de Fim: _____
- Pequena descrição: _____

- Dificuldades: _____
- Duração: _____

A.4 Questionários aos Fisioterapeutas

- Nome: _____
- Costuma tirar anotações das sessões de fisioterapia? : _____
- Como guarda estes dados? No papel? Em formato digital? : _____
- Que informações costuma guardar?:

_____

A.5 11 Perguntas

Quem vai utilizar o sistema?

O sistema deve ser utilizado por fisioterapeutas, por técnicos de fisioterapia, ou até por auxiliares de fisioterapia.

Que tarefas executam actualmente?

Actualmente, não existe nenhuma ferramenta que auxilie os fisioterapeutas durante as sessões de fisioterapia. O fisioterapeuta começa por ensinar exercícios respiratórios e faz a mobilização de todas as articulações, alongando e movendo todo o corpo. Todo este procedimento é fundamental para dar inicio à segunda fase da reabilitação, na qual ainda se mantém as articulações saudáveis de modo a prevenir deformidades e, deste modo melhorar a respiração do paciente que normalmente tem dificuldades em expandir a caixa torácica. Nesta fase, o objectivo é melhorar todo o movimento possível, trabalhando tudo o que paciente consegue movimentar. Trabalha-se também a sua independência, ensinando como sair da cadeira, como locomover-se, alimentar-se, cuidar da higiene pessoal, não esquecendo a respiração, que é de grande importância. A terceira fase, designa-se por manutenção, e consiste na realização de alongamentos , mobilizações, e colocar o paciente em pé.

Que tarefas são desejáveis?

- Que seja possível introduzir um novo paciente
- Que seja possível introduzir um novo movimento
- Que seja possível adicionar o movimento realizado por um determinado paciente
- Que o fisioterapeuta tenha um histórico das sessões do paciente.
- Que consiga comparar dois movimentos e consiga observar qual o movimento realizado da forma mais correcta.
- Fazer sincronização de dois movimentos manualmente.

Como aprendem as tarefas?

- Através do manual do utilizador
- Através da experiência obtida nas tarefas anteriores
- Através da ajuda da aplicação
- Observando o movimento correcto a realizar na aplicação.

Onde são desempenhadas as tarefas?

Vão ser desempenhadas num ambiente fechado, onde esteja instalado o sistema de tracking. Neste caso a solução será a sala Lourenço Fernandes no Instituto Superior Técnico – pólo TagusPark.

Quais as relações entre utilizadores e informação?

A aplicação deverá ser utilizada num único posto da sala, uma vez que podem ocorrer oclusões de vários marcadores de tracking se forem utilizados vários postos ao mesmo tempo. O fisioterapeuta deverá colocar os sensores no paciente, e de seguida deve-se dirigir ao computador onde está a aplicação e começar a gravar o movimento Os dados estarão sempre disponíveis para posterior visualização.

Que outros instrumentos tem o utilizador?

Como já foi dito anteriormente, o utilizador irá ter de utilizar os sensores de tracking, para a gravação dos movimentos.

Como comunicam os utilizadores entre si?

Após cada sessão, o utilizador (fisioterapeuta) irá deixar as suas observações. Assim serão guardadas todas as informações relevantes de outros utilizadores, e assim podem acompanhar a evolução de outros pacientes.

Qual a frequência de desempenho das tarefas?

Os utilizadores realizam estas tarefas diariamente, mas não com uma aplicação.

Quais as restrições de tempo impostas?

À partida não existem restrições de tempo, só que pretende-se que a monitorização de uma sessão de fisioterapia não demore mais do que no método tradicional, ou seja, pretende-se que a aplicação facilite o trabalho do utilizador, e que não faça com que este demore ainda mais tempo do que o que fazia anteriormente.

Que acontece se algo correr mal?

Se algo correr mal, deve-se reiniciar a aplicação e continuar com a tarefa pretendida.

Apêndice B

Resultados Avaliação Preliminar

Tarefa 1: Introduzir novo paciente Introduzir um novo paciente com os seguintes dados:

Nome: Pedro Pacheco

Data de Nascimento: 20/02/1985

Lesão: C3

Completo/Incompleto: Incompleto

Motivo: Acidente de Automóvel

Observações: (vazio)

		Método de medida		
Utilizadores		Tempo(seg)	Num. erros	Num. ecrãns
	U1	60 seg	0	4
	U2	80 seg	0	4
	U3	73 seg	0	4

Tabela B.1: Resultados Tarefa 1

	Método de medida		
	Tempo(seg)	Num. erros	Num. ecrãs
Pior caso	80 seg	0	4
Objectivo Planeado	55 seg	0	4
Melhor Caso	60 seg	0	4

Tabela B.2: Estimativas Tarefa 1

Tarefa 2: Introduzir um novo movimento Introduzir um novo movimento com os seguintes dados:

Nome:Levantar os braços

Descrição: O paciente necessita de levantar os dois braços

		Método de medida		
		Tempo(seg)	Num. erros	Num. ecrãs
Utilizadores	U1	231 seg	0	10
	U2	300 seg	0	10
	U3	257 seg	0	10

Tabela B.3: Resultados Tarefa 2

	Método de medida		
	Tempo(seg)	Num. erros	Num. ecrãs
Pior caso	300 seg	0	10
Objectivo Planeado	220 seg	0	10
Melhor Caso	231 seg	0	10

Tabela B.4: Estimativas Tarefa 2

Tarefa 3: Visualizar Movimento Escolher o movimento base "balançar os braços e cruzar" e visualizar

		Método de medida		
		Tempo(seg)	Num. erros	Num. ecrãs
Utilizadores	U1	140 seg	0	4
	U2	163 seg	0	4
	U3	131 seg	0	4

Tabela B.5: Resultados Tarefa 3

	Método de medida		
	Tempo(seg)	Num. erros	Num. ecrãs
Pior caso	163 seg	0	4
Objectivo Planeado	120 seg	0	4
Melhor Caso	131 seg	0	4

Tabela B.6: Estimativas Tarefa 3

Tarefa 4: Visualizar dados do Paciente Escolher o paciente Jacinto e visualizar quantas sessões de fisioterapia teve

		Método de medida		
		Tempo(seg)	Num. erros	Num. ecrãs
Utilizadores	U1	40 seg	0	5
	U2	71 seg	1	7
	U3	41 seg	0	5

Tabela B.7: Resultados Tarefa 4

	Método de medida		
	Tempo(seg)	Num. erros	Num. ecrãs
Pior caso	71 seg	1	7
Objectivo Planeado	35 seg	0	5
Melhor Caso	40 seg	0	5

Tabela B.8: Estimativas Tarefa 4

Tarefa 5: Visualizar dois movimentos Escolher o paciente Jacinto e comparar as execuções do movimento "balançar os braços e cruzar" do dia 11/07/2010 18:26 e do dia 11/07/2010 19:11

		Método de medida		
		Tempo(seg)	Num. erros	Num. ecrãs
Utilizadores	U1	103 seg	0	8
	U2	97 seg	0	8
	U3	108 seg	1	10

Tabela B.9: Resultados Tarefa 5

	Método de medida		
	Tempo(seg)	Num. erros	Num. ecrãs
Pior caso	108 seg	1	10
Objectivo Planeado	85 seg	0	8
Melhor Caso	97 seg	0	8

Tabela B.10: Estimativas Tarefa 5

Apêndice C

Avaliação Heuristica

C.1 Guião da Avaliação heuristica

C.1.1 Introdução

Actualmente, a informática é considerada uma ferramenta que não se deve dissociar do trabalho terapêutico, pois constitui um importante instrumento a ser associado a um trabalho de habilitação, reabilitação, educação especial e integração do paciente no meio sociocultural. A grande contribuição deste trabalho, passa por facilitar a percepção de evolução do paciente, através de um sistema que permite gravar os movimentos realizados e compará-los com outras execuções do movimento. Neste guião pretende-se avaliar a interface do sistema RehabGaming, tornando-se assim possível a correcção dos erros de usabilidade do sistema.

C.1.2 Contexto

Iremos recorrer a uma avaliação heurística, onde o sistema é submetido para diferentes avaliadores que irão dar o seu parecer baseando-se nos mesmos princípios, as chamadas heurísticas.

- H2-1 -Tornar estado do sistema visível
- H2-2 -Falar a linguagem do utilizador
- H2-3 -Utilizador controla e exerce livre-arbítrio
- H2-4 -Consistência e Adesão a Normas
- H2-5 -Evitar Erros
- H2-6 -Reconhecimento em vez de lembrança
- H2-7 -Flexibilidade e Eficiência
- H2-8 -Desenho de ecrã estético e minimalista
- H2-9 -Ajudar utilizador a reconhecer, diagnosticar e recuperar dos erros
- H2-10 -Dar Ajuda e Documentação

C.1.3 Utilizadores

Para estes testes, vamos seleccionar um conjunto de entre 5 a 7 utilizadores peritos em usabilidade, apesar de serem os fisioterapeutas os principais utilizadores deste sistema. Esta escolha deve-se principalmente porque os utilizadores peritos conseguem identificar os problemas mais graves de usabilidade na avaliação por critérios heurísticos permitindo realizar posteriormente testes de utilizadores com melhores resultados. Também necessitamos de um utilizador onde colocar os sensores de tracking, e que realize os movimentos enquanto os utilizadores peritos utilizam o sistema. Este utilizador será mencionado posteriormente como utilizador de testes. Este utilizador deveria ser um tetraplégico, mas como só pretendemos avaliar neste estudo a interface, optamos por escolher um utilizador normal.

C.1.4 Material Necessário

- Folhas com as heurísticas

- Bloco de notas

- Caneta

- Questionários

-12 Sensores ópticos

- 1 Cadeira

C.1.5 Procedimentos

Procedimentos durante a fase de testes

Passo 1 – Dar ao utilizador perito uma folha onde explique o objectivo do estudo.

Passo 2- Dar ao utilizador perito uma folha com as tarefas que deve executar.

Passo 3-O observador da sessão deverá colocar a cadeira no centro da sala e pedir ao utilizador de testes que se sente.

Passo 4- Observador iniciar a aplicação

Passo 5- Observador colocar a gravar o software de gravação de ecrãs

Passo 6- Pedir ao utilizador perito que comece a tarefa

Passo 7- Observador guardar a execução da tarefa

Passo 8- Para cada tarefa refazer os passos do 5 ao 7.

Esclarecimento após a avaliação

- Agradecer a participação do utilizador.

C.2 Heurísticas de Usabilidade – Jakob Nielsen, 1994

- H2-1 – Tornar o estado do sistema visível

Visibility of system status

- H2-2 – Falar a linguagem do utilizador

Match between system and the real world

- H2-3 – Utilizador controla e exerce livre arbítrio

User control and freedom

- H2-4 – Consistência e aderência a normas

Consistency and standards

- H2-5 – Evitar erros

Error prevention

- H2-6 – Reconhecimento em vez de lembrança

Recognition rather than recall

- H2-7 – Flexibilidade e eficiência

Flexibility and efficiency of use

- H2-8 – Desenho de ecrã estético e minimalista

Aesthetic and minimalist design

- H2-9 – Ajudar o utilizador a reconhecer, diagnosticar e recuperar erros

Help users recognize, diagnose, and recover from errors

- H2-10 – Dar ajuda e documentação

Help and documentation

C.3 Graus de severidade

- 0 - não há consenso quanto a problema de usabilidade
- 1 - problema cosmético
- 2 - problema menor
- 3 - problema importante de usabilidade -corrigir
- 4 - CATÁSTROFE de usabilidade – imperativo corrigir!

Tarefas para avaliação heurística

1º TAREFA: INTRODUZIR UM NOVO PACIENTE:

Introduzir um novo paciente com os seguintes dados

Nome: Pedro Pacheco

Data de Nascimento: 20/02/1985

Lesão: C3

Completo/Incompleto: Incompleto

Motivo: Acidente de Automóvel

Observações: (vazio)

Erro	Heurística	Severidade (0-4)	Comentário (Sugestão)

2º TAREFA: INTRODUZIR UM NOVO MOVIMENTO BASE:

Introduzir um novo movimento com os seguintes dados e efectue a calibração:

Nome: Levantar os braços

Descrição: O paciente necessita de levantar os dois braços

Durante a calibração, deverá fazer corresponder os pontos dos sensores com os pontos do esqueleto. De seguida, deverá manter seleccionados todos os pontos, e prosseguir com a gravação do movimento.

Erro	Heurística	Severidade (0-4)	Comentário (Sugestão)

3º TAREFA: VISUALIZAR MOVIMENTO:

Escolher o movimento base "balançar os braços e cruzar" e visualizar qual o ângulo realizado entre os pontos MaoEsquerda, CotoveloEsquerdo, OmbroEsquerdo em qualquer instante.

Erro	Heurística	Severidade (0-4)	Comentário (Sugestão)

4º TAREFA: VISUALIZAR DADOS DO PACIENTE:

Escolher o paciente Jacinto e visualizar quantas sessões de fisioterapia já realizou

Erro	Heurística	Severidade (0-4)	Comentário (Sugestão)

5º TAREFA: COMPARAR MOVIMENTOS:

Escolher o paciente Jacinto e comparar as execuções do movimento "balançar os braços e cruzar" do dia 11/07/2010 18:26 e do dia 11/07/2010 19:11

Erro	Heurística	Severidade (0-4)	Comentário (Sugestão)

Apêndice D

Questionário de Avaliação (Visualização)

O paciente durante o movimento manteve as costas direitas?	Sim	___	Não	___	
O paciente conseguiu realizar um ângulo de aproximadamente 90^{o} ?	Sim	___	Não	___	valor aprox. ___
O paciente moveu a bacia para a realização do movimento?	Sim	___	Não	___	
O paciente realiza alguma compensação noutra parte do corpo?	Sim	___	Não	___	
O movimento manteve um ritmo estável?	Sim	___	Não	___	
O movimento foi harmonioso?	Sim	___	Não	___	

Observações:

_ _ _ _

Apêndice E

Questionário de Avaliação (Comparação)

Este questionário deve ser preenchido, tendo em conta todas as avalições realizadas.

A postura das costas melhorou?	Sim	_ _ _	Não	_ _ _	Manteve	_ _ _
O paciente conseguiu um maior angulo de abertura?	Sim	_ _ _	Não	_ _ _	valor aprox.	_ _ _
O paciente compensou menos o movimento na bacia?	Sim	_ _ _	Não	_ _ _	Manteve	_ _ _
O paciente compensou menos o movimento na cabeça?	Sim	_ _ _	Não	_ _ _	Manteve	_ _ _
O movimento foi a um ritmo mais estável?	Sim	_ _ _	Não	_ _ _	Manteve	_ _ _
O movimento foi mais harmonioso?	Sim	_ _ _	Não	_ _ _	Manteve	_ _ _

Observações:

_ _ _ _

Apêndice F

Resultados da Avaliação Final

	Sessão 1			Sessão 2			Sessão 3			Discussão
	Automático	Manual 1	Manual 2	Automático	Manual 1	Manual 2	Automático	Manual 1	Manual 2	
O paciente durante o movimento manteve as costas direitas?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
O paciente conseguiu realizar um ângulo de aproximadamente 90 º ?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Aprox. 75º	Sim	Sim	Não
O paciente moveu a cabeça para a realizaçao do movimento?	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
O paciente moveu a bacia para a realização do movimento?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim
O movimento manteve um ritmo estável?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
O movimento foi harmonioso?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Duração hh:mm:ss	00:03:11	00:02:43	00:03:17	00:02:10	00:02:14	00:02:09	00:03:15	00:03:22	00:03:40	00:05:23

Tabela F.1: Resumo da Avaliação relativo ao movimento 1- Visualização

	Sessão 1			Sessão 2			Sessão 3			Discussão
	Automático	Manual 1	Manual 2	Automático	Manual 1	Manual 2	Automático	Manual 1	Manual 2	
O paciente durante o movimento manteve as costas direitas?	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
O paciente conseguiu realizar um ângulo de aproximadamente 90 º ?	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Aprox 75º	Não	Não	Não
O paciente moveu a cabeça para a realizaçao do movimento?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
O paciente moveu a bacia para a realização do movimento?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim
O movimento manteve um ritmo estável?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
O movimento foi harmonioso?	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Duração hh:mm:ss	00:02:15	00:02:10	00:02:07	00:02:10	00:02:05	00:02:13	00:03:10	00:03:05	00:03:10	00:07:00

Tabela F.2: Resumo da Avaliação relativo ao movimento 2- Visualização

	Sessão 1			Sessão 2			Discussão	Sessão 3			Discussão
	Automático	Manual 1	Manual 2	Automático	Manual 1	Manual 2		Automático	Manual 1	Manual 2	
O paciente durante o movimento manteve as costas direitas?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
O paciente conseguiu realizar um ângulo de aproximadamente 90 º ?	Aprox 45	Aprox 45	Aprox 45	Aprox 45	Aprox 40	Aprox 45	Não	Aprox 70	Aprox 50	Aprox 60	Não
O paciente moveu a cabeça para a realizaçao do movimento?	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
O paciente moveu a bacia para a realização do movimento?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim
O movimento manteve um ritmo estável?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
O movimento foi harmonioso?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Duração hh:mm:ss	00:02:10	00:02:15	00:02:07	00:03:15	00:03:27	00:03:02	00:10:00	00:03:57	00:04:10	00:04:03	00:08:30

Tabela F.3: Resumo da Avaliação relativo ao movimento 3- Visualização

	Comparação - Final S2			Discussão	Comparação - Final S3			Discussão
	A - M2	M1- A	M2 - M1		A - M2 - M1	M1- A - M2	M2 - M1 - A	
A postura das costas melhorou?	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Não	Não	Não	Não
O paciente conseguiu um maior ângulo de abertura?	Sim	Sim	Não	Sim	Manteve	Manteve	Sim	Manteve
O paciente compensou menos o movimento na bacia?	Manteve	Manteve	Não	Manteve	Não	Não	Não	Não
O paciente compensou menos o movimento na cabeça?	Não	Não	Manteve	Não	Manteve	Manteve	Sim	Manteve
O movimento foi a um ritmo mais estável?	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve
O movimento foi mais harmonioso?	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve
Duração hh:mm:ss	00:03:10	00:02:25	00:02:52		00:02:07	00:02:05	00:02:13	

Tabela F.4: Resumo da Avaliação relativo ao movimento 1- Comparação

	Comparação - Final S2			Comparação - Final S3		
	A - M2	M1- A	M2 - M1	A - M2 - M1	M1- A - M2	M2 - M1 - A
A postura das costas melhorou?	Não	Não	Não	Não	Manteve	Não
O paciente conseguiu um maior ângulo de abertura?	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
O paciente compensou menos o movimento na bacia?	Manteve	Manteve	Manteve	Não	Não	Não
O paciente compensou menos o movimento na cabeça?	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Não
O movimento foi a um ritmo mais estável?	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve
O movimento foi mais harmonioso?	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve
Duração hh:mm:ss	00:02:05	00:02:16	00:02:50	00:02:33	00:03:03	00:02:55

Tabela F.5: Resumo da Avaliação relativo ao movimento 2- Comparação

	Comparação - Final S2			Comparação - Final S3		
	A - M2	M1- A	M2 - M1	A - M2 - M1	M1- A - M2	M2 - M1 - A
A postura das costas melhorou?	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Não	Não
O paciente conseguiu um maior ângulo de abertura?	Manteve	Manteve	Manteve	Sim	Sim	Sim
O paciente compensou menos o movimento na bacia?	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Não	Não
O paciente compensou menos o movimento na cabeça?	Não	Não	Não	Manteve	Manteve	Manteve
O movimento foi a um ritmo mais estável?	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve
O movimento foi mais harmonioso?	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve	Manteve
Duração hh:mm:ss	00:01:50	00:02:13	00:02:16	00:02:25	00:02:36	00:02:37

Tabela F.6: Resumo da Avaliação relativo ao movimento 3- Comparação

	Colocar sensores			Calibragem		
	Movimento 1	Movimento 2	Movimento 3	Movimento 1	Movimento 2	Movimento 3
Fisioterapeuta 1	00:01:30	00:01:00	00:00:52	00:04:26	00:03:33	00:02:55
Fisioterapeuta 2	00:01:02	00:00:53	00:00:46	00:05:00	00:03:55	00:03:15
Fisioterapeuta 3	00:00:50	00:00:45	00:00:45	00:04:35	00:03:20	00:03:03
Media	00:01:02	00:00:53	00:00:46	00:04:35	00:03:33	00:03:03

Tabela F.7: Resumo dos tempos na montagem e calibragem dos sensores

	Medidas			Fisioterapeuta 1	Fisioterapeuta 2	Fisioterapeuta 3
Acharam a avaliação muito demorada ?	Nada	0 1 2 3 4 5	Muito	4	4	4
Acharam a avaliação muito dificil ?	Nada	0 1 2 3 4 5	Muito	3	4	4
Acharam que o sistema é preciso ?	Nada	0 1 2 3 4 5	Muito	4	5	4
O processo de montagem dos sensores é muito demorado ?	Nada	0 1 2 3 4 5	Muito	1	1	1
O processo de calibragem dos sensores é muito demorado ?	Nada	0 1 2 3 4 5	Muito	2	4	3
Utilizaria este sistema nas sessões de fisioterapia?	Não	0 1 2 3 4 5	Sim	5	4	5

Tabela F.8: Resumo do questionário de satisfação